



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**Revisión bibliográfica de los constituyentes inorgánicos
(metales) de la Tabla 2: Límites Máximos Permisibles
para los Constituyentes Tóxicos en el Extracto PECT,
ubicada en la Norma Oficial Mexicana
NOM-052-SEMARNAT-2005**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

Sebastián Jhovani García Salazar



MÉXICO, D.F.

AÑO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Dra. María Rafaela Gutiérrez Lara

VOCAL: Dra. Luz María Lazcano Arriola

SECRETARIO: Dra. Georgina Fernández Villagómez

1er. SUPLENTE: Dra. Gema Luz Andraca Ayala

2° SUPLENTE: M.I. Sergio Adrián García González

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Edificio de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria

ASESOR DEL TEMA:

Dra. Georgina Fernández Villagómez

SUSTENTANTE:

Sebastián Jhovani García Salazar

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE ACRÓNIMOS	ix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	6
1.3. Objetivo general	7
1.4. Objetivos específicos	7
1.5. Alcances y limitaciones	8
CAPÍTULO 2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	9
2.1. La tabla periódica	9
2.2. Descripción física de los contaminantes inorgánicos del extracto PECT	11
2.3. Propiedades físicas y químicas de los contaminantes del extracto PECT. .	12
CAPÍTULO 3. TOXICOLOGÍA.	16
3.1. Generalidades.....	16
3.1.1. Tipos de exposición	17
3.1.1.1. Exposición aguda	17
3.1.1.2. Exposición crónica.....	17
3.2. Niveles ambientales y exposiciones.....	18
3.2.1. Arsénico.....	18
3.2.2. Bario	19
3.2.3. Cadmio	20
3.2.4. Cromo	21
3.2.5. Mercurio.....	22
3.2.6. Plata.....	23

3.2.7. Plomo.....	24
3.2.8. Selenio.....	26
3.3. Absorción.....	27
3.4. Concentraciones máximas permisibles.....	28
3.5. Dosis letales.....	30
3.6. Signos y síntomas.....	31
3.7. Prueba de diagnóstico.....	39
3.8. Tratamiento.....	40
3.9. Secuelas.....	42
3.10. Medidas preventivas.....	43
CAPÍTULO 4. PRESENCIA EN EL MUNDO.....	45
4.1. Abundancia.....	45
4.1.1. Arsénico.....	45
4.1.2. Bario.....	46
4.1.3. Cadmio.....	46
4.1.4. Cromo.....	47
4.1.5. Mercurio.....	47
4.1.6. Plata.....	48
4.1.7. Plomo.....	48
4.1.8. Selenio.....	49
4.2. Extracción.....	49
4.2.1. Arsénico.....	50
4.2.2. Bario.....	51
4.2.3. Cadmio.....	51
4.2.4. Cromo.....	51
4.2.5. Mercurio.....	52
4.2.6. Plata.....	53
4.2.7. Plomo.....	54
4.2.8. Selenio.....	55

4.3. Producción mundial y reservas	55
4.3.1. Arsénico	55
4.3.2. Bario	56
4.3.3. Cadmio	57
4.3.4. Cromo	58
4.3.5. Mercurio	59
4.3.6. Plata	60
4.3.7. Plomo	61
4.3.8. Selenio	62
CAPÍTULO 5. USOS Y APLICACIONES.....	64
5.1. Arsénico	64
5.2. Bario	65
5.3. Cadmio	66
5.4. Cromo	67
5.5. Mercurio	68
5.6. Plata	69
5.7. Plomo	70
5.8. Selenio	71
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	72
REFERENCIAS.....	74

RESUMEN

La presente tesis aborda el problema de la justificación de la presencia de las sustancias inorgánicas (metales) consideradas en la Tabla 2 de la Norma Oficial Mexicana (NOM-052-SEMARNAT- 2005), misma que en estos momentos está en revisión por parte de un grupo de expertos.

En el capítulo uno se aborda el planteamiento del problema considerando algunos accidentes que llamaron la atención a nivel mundial, así como la justificación de esta investigación aterrizando en los objetivos, los alcances y las limitaciones.

El capítulo dos, comprende las propiedades físicas y químicas de los elementos de la tabla dos de la mencionada Norma apegándose a su presencia en la tabla periódica de los elementos químicos.

La toxicología de los ocho elementos en estudio se presenta en el capítulo tres, donde se hace una revisión desde la ruta de adsorción pasando por signos y síntomas, tratamiento y prevención de enfermedades que puedan provocar estas sustancias. Asimismo, se presentan los límites máximos permisibles para cada uno de dichos elementos.

El capítulo cuatro contiene el tema de la presencia en el mundo de los mencionados elementos, haciendo hincapié en la abundancia, extracción y producción mundial.

Los usos y aplicaciones se muestran en el capítulo cinco donde se hace una revisión de manera individual de cada uno de los elementos en estudio.

Finalmente se emiten unas conclusiones, considerando los objetivos y las observaciones que se hicieron a lo largo del desarrollo de este estudio y se enlista la bibliografía consultada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Bahía de Minamata contaminada con residuos industriales	2
Figura 1.2. Metilmercurio vertido en la bahía de Minamata, que es utilizada por los pescadores locales.....	2
Figura 1.3. Una familia limpia hierbas afuera de su casa en Bangladesh	3
Figura 1.4. Las ruinas de un molino cubiertas de polvo amarillo (cromo hexavalente).....	4
Figura 2.1. Tabla periódica de los elementos en la que se aprecia la división de los elementos en metales, metaloides y no metales.....	9
Figura 2.2. Tabla periódica de los elementos.....	10
Figura 3.1. Plomo contenido en carne, hígado y riñón en diferentes animales.	24

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Descripción física de los contaminantes.....	11
Tabla 2.2. Datos generales de los Constituyentes tóxicos en el extracto PECT ...	13
Tabla 2.3. Propiedades fundamentales de los Constituyentes tóxicos en el extracto PECT.....	13
Tabla 2.4. Propiedades Físicas y Químicas	14
Tabla 2.5. Solubilidad de los constituyentes tóxicos	15
Tabla 3.1. Concentraciones (valores medios mg Cd/kg de peso húmedo) en distintos productos alimenticios.....	20
Tabla 3.2. Contenido de plomo en los alimentos ($\mu\text{g/g}$ con humedad).....	25
Tabla 3.3. Tipo de absorción en los seres vivos.....	27
Tabla 3.4. Concentraciones maximas permisibles para la calidad del aire en áreas de trabajo, de acuerdo a dependencias de los E.E.U.U.....	28
Tabla 3.5. Concentraciones permitidas para metales pesados en el agua potable	29
Tabla 3.6. Dosis letales	30
Tabla 3.7. Signos y síntomas que se presentan por contaminación de Arsénico..	31

Tabla 3.8. Signos y síntomas por intoxicación por Bario	32
Tabla 3.9. Signos y síntomas por absorción de Cadmio	33
Tabla 3.10. Principales afectaciones a la salud por contaminación de Cromo.....	34
Tabla 3.11. Afectaciones crónicas y agudas por absorción de Mercurio.....	35
Tabla 3.12. Signos y síntomas generales por envenenamiento con sales de Plata	36
Tabla 3.13. Signos y síntomas generales por contaminación con Plomo	37
Tabla 3.14. Afectaciones generales por intoxicación con Selenio.....	38
Tabla 3.15. Prueba de diagnóstico, para determinar la cantidad absorbida de metales pesados	39
Tabla 3.16a. Tratamiento a seguir si se ha sufrido intoxicación por metales pesados.....	40
Tabla 3.16b. Tratamiento a seguir si se ha sufrido intoxicación por metales pesados.....	41
Tabla 3.17. Secuelas que se presentan por absorción de metales pesados	42
Tabla 3.18a. Medidas preventivas a seguir para prevenir una intoxicación por metales pesados	43
Tabla 3.18b. Medidas preventivas a seguir para prevenir una intoxicación por metales pesados	44

Tabla 4.1. Principales países productores de Trióxido de Arsénico (As_2O_3).....	56
Tabla 4.2. Producción mundial de barita (BaSO_4).....	57
Tabla 4.3. Principales productores de Cadmio.....	58
Tabla 4.4. Principales países productores de Cromo.....	59
Tabla 4.5. Principales productores mineros de Mercurio.....	60
Tabla 4.6. Producción mundial de Plata.....	61
Tabla 4.7. Principales países productores de Plomo.....	62
Tabla 4.8. Producción a nivel mundial de Selenio.....	63

ACRÓNIMOS

- ACGIH = Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (los valores de concentración son en un tiempo promedio ponderado, para una jornada laboral normal de 8 horas, o una semana laboral de 40 horas. Casi todos los trabajadores pueden estar expuestos a estas concentraciones)
- CAS = Servicio de Resúmenes Químicos
- CNEQ = Centro Nacional de Educación Química
- CNN = Cadena de Noticias por Cable
- ITESCAM = Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche
- IUPAC = Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
- NIOSH = Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud Ocupacional (límites de exposición recomendados)
- NOM = Norma Oficial Mexicana
- NSO = Norma Salvadoreña Obligatoria
- OMS = Organización Mundial de la Salud
- OSHA = Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE.UU. (las concentraciones son el nivel más alto al que puede estar expuesto un trabajador durante una jornada laboral de 8 horas)
- PECT = Procedimiento de Extracción de Constituyentes Tóxicos
- PROFEPA = Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
- SEMARNAT = Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- USEPA = Agencia de Protección del Medio ambiente de EE.UU.
- USGS = Servicio Geológico de los EE.UU.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ANTECEDENTES.

Hace 58 años se produjo uno de los mayores desastres industriales de la historia, con aproximadamente 900 muertos y más de 2,000 personas intoxicadas. No es el peor desastre ocurrido; pero si hay algo que lo identifique y obligue a recordarlo, es que no fue un accidente, sino un ejemplo de negligencia, búsqueda de lucro económico y desprecio al medio ambiente (Ciencia Xataca, 2006).

Juan, S. (2006), da a conocer el desastre ocurrido en Japón remontándose a Mayo de 1956, donde cuatro pacientes de la ciudad de Minamata, en la costa oeste de la isla japonesa de Kyushu fueron ingresados en el hospital con los mismos síntomas graves y desconcertantes. Ellos sufrieron de fiebre muy alta, convulsiones, psicosis, pérdida del conocimiento, y finalmente la muerte. Poco después, otros 13 pacientes procedentes de pueblos de pescadores cerca de Minamata sufrieron los mismos síntomas y también murieron. Conforme pasó el tiempo, más y más personas se enfermaron y muchos murieron. Los médicos estaban desconcertados por los extraños síntomas y terriblemente alarmados. Se determinó finalmente que la causa fue la intoxicación por mercurio. El mercurio estaba en el producto de desecho vertido en la bahía de Minamata en una escala masiva por una planta química. El mercurio contaminó a los peces que vivían en la bahía de Minamata. La gente que comía el pescado, se vieron contaminados y se enfermaron. Las aves del área local, así como los animales domesticados también perecieron. En total, 900 personas murieron y 2,265 personas recibieron la certificación de haber sufrido directamente de la intoxicación por mercurio que ahora se conoce como la enfermedad de Minamata.

Todo esto ocurrió porque el corporativo arrojó grandes cantidades de metilmercurio un derivado de este metal, en la bahía de Minamata, como puede verse en las figuras 1.1 y 1.2.



Figura 1.1. Bahía de Minamata contaminada con residuos industriales (W. Eugene Smith, 1971).



Figura 1.2. Metilmercurio vertido en la bahía de Minamata, que es utilizada por los pescadores locales (W. Eugene Smith, 1971).

Si se piensa que esto es grave se tiene que revisar lo ocurrido en el año de 1998 en Bangladesh, donde muchas personas resultaron intoxicadas por beber agua contaminada con arsénico. Walker (2010) en su artículo publicado en CCN México trae el que probablemente sea el peor envenenamiento en la historia, y la terrible ironía es que puede ser a causa de un intento idealista por limpiar el agua que beben algunas de las personas más pobres del mundo. Una nueva investigación, publicada en la revista médica británica *The Lancet*, dice que hasta 77 millones de personas en Bangladesh están expuestas a niveles tóxicos de arsénico, lo que potencialmente le resta años o décadas a sus vidas. Un equipo internacional de investigadores de Chicago, Nueva York y Bangladesh estudió a 12,000 personas durante una década, monitoreó el consumo de arsénico y las tasas de mortalidad de los pozos contaminados.

Para el final de la investigación, una de cada cinco muertes se relacionó directamente con los altos niveles de arsénico en su sistema. Si se aplica eso a la

población entera que toma agua de los pozos, el impacto es de enormes proporciones.

Aunque no se sabía del gran efecto mortal, el problema se conoce desde hace años. La investigación mostró que el percentil más alto de aquellos expuestos tiene una tasa de mortalidad 70% mayor de la esperada de la población en general.

Otras investigaciones de salud a largo plazo han mostrado que toma 20 años para que los efectos negativos del envenenamiento de arsénico desaparezcan, incluso cuando ya no se utilicen los pozos contaminados.

En la figura 1.3 se observa a una típica familia de Bangladesh limpiando hierbas, la cual forma parte de los 77 millones de personas expuestas a arsénico en el agua.



Figura 1.3. Una familia limpia hierbas afuera de su casa en Bangladesh (AFP).

México no se queda atrás en este tipo de acontecimientos, a continuación se muestra lo ocurrido en Cromatos de México.

La empresa Cromatos de México se estableció en 1958 en la colonia Lechería, ubicada en el municipio Tultitlán, Estado de México, para producir pigmentos y sustancias para curtir pieles a partir del mineral cromita (FeCr_2O_4), forma natural del cromo. Aunque este metal forma parte del organismo humano de manera natural, su forma hexavalente (que se genera en la producción de tales mercancías) es tóxica y puede ocasionar graves problemas de salud, entre ellos, cáncer (Castro, 2009).

Durante sus 20 años de operación, la planta emitió a la atmósfera un gran número de toneladas de cromo hexavalente y acumuló en sus instalaciones alrededor de 100 mil toneladas de residuos industriales con este contaminante como se observa en la figura 1.4; esto ha afectado de manera grave e irreversible los mantos acuíferos y el terreno circundante. En septiembre de 1978, ante las evidencias del daño que el “polvo amarillo” (residuos ricos en cromo hexavalente) que emitía esta planta, había causado a los habitantes y al entorno; y como resultado de la movilización de un grupo de vecinos liderados por doña Manuela Ríos, con apoyo del sector académico y la prensa, la empresa fue clausurada definitivamente por los Servicios Coordinados de Salud en el Estado de México (Castro, 2009).



Figura 1.4. Las ruinas de un molino cubiertas de polvo amarillo (cromo hexavalente).

Méndez (2012) publica un artículo en el periódico Excélsior donde menciona que atrás quedaron los días de dolor, enfermedad y muerte generados por un polvo amarillo, corrosivo y altamente cancerígeno, abandonado en una fábrica de la colonia Lechería. En total, 100 mil toneladas de cromo hexavalente, utilizadas en la producción de acero inoxidable y el curtido de pieles.

A continuación se muestran otros hechos relevantes ocurridos durante el siglo XX, similares a los mencionados anteriormente (To-Figueras, 2009):

Japón (1947): Fuchu, epidemia "Itai-itai" por cadmio que procedente de extracciones mineras contaminaba arrozales y aguas. El síndrome Itai-itai, diagnosticado inicialmente como el reblandecimiento de huesos por deficiencia en vitamina D, afectaba principalmente a mujeres menopáusicas y se caracterizaba por la aparición dolores muy intensos en todo el cuerpo, fracturas y deformidades esqueléticas. Con ello se asociaba una tasa frecuente de mal funcionamiento de los riñones. Parece claro que el cadmio jugó un papel etiológico en la enfermedad de "Itai-Itai", aunque se cree que deficiencias nutricionales crónicas en vitamina D y calcio, típicas de la zona en aquella época, pueden haber actuado como factores en la aparición del síndrome.

Irak (1971-72): Intoxicación masiva por consumo de pan, elaborado de forma casera a partir de harina de trigo, cuyo grano, destinado a la siembra, había sido importado y previamente tratado con un fungicida a base de metilmercurio, afectó a más de 6500 personas, con 459 muertes. Episodios similares habían sucedido anteriormente en el mismo Irak (1956) y en Paquistán (1956).

España (1978): unas 200 intoxicaciones con varias muertes en Extremadura producidas por la adición de arseniato sódico ($\text{NaH}_2\text{AsO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) a un vino para controlar la acidez.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Hoy en día las grandes empresas nacionales y transnacionales dedicadas al ramo de la química, generan residuos a través de sus procesos industriales, ya sea como subproductos, productos químicos gastados o como componentes de descarga, los cuales ya no cuentan con un valor agregado para dicha empresa, estos pueden presentarse en forma sólida, líquida o gaseosa (Arcos *et al.*, 1992).

Los riesgos al medio ambiente y a la salud causados por los residuos peligrosos son un foco de atención, no solo en México, sino a nivel mundial, que ha propiciado que se generen disposiciones regulatorias (leyes, reglamentos y normas), que establecen pautas de conducta a evitar y medidas a seguir para lograr dicho manejo seguro a fin de prevenir riesgos, a la vez que fijan límites de exposición o alternativas de tratamiento y disposición final para reducir su volumen y peligrosidad (PROFEPA, 2010).

El daño que puede producir cualquier líquido peligroso es que al salpicarse o derramar puede entrar al cuerpo a través de la piel y llegar al torrente sanguíneo. Un residuo gaseoso puede fluir hasta expandirse para poder llenar el espacio que lo tiene contenido. Muchos de estos pueden ser altamente inflamables; otros muy reactivos tanto en el medio ambiente como dentro del cuerpo. Los sólidos de mayor preocupación para la salud son polvos, fibras y humo. Este tipo de sólidos pueden ser inhalados directamente hacia los pulmones, dañándolos o pasando al torrente sanguíneo y dañar otras partes del cuerpo (Arcos *et al.*, 1992).

Como se ha mencionado, las industrias son grandes generadoras de residuos peligrosos, por lo que en el mundo y en México se han establecido normas para caracterizar estos residuos dañinos tanto para el ser humano como el medio ambiente.

1.3. OBJETIVO GENERAL.

Realizar una revisión bibliográfica sobre los constituyentes inorgánicos (metales) de la Tabla 2: Límites Máximos Permisibles para los Constituyentes Tóxicos en el Extracto PECT, ubicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Enlistar las principales propiedades generales, físicas y químicas, de los constituyentes inorgánicos (metales) de la Tabla 2: Límites Máximos Permisibles para los Constituyentes Tóxicos en el Extracto PECT
- Comparar la toxicología de los constituyentes inorgánicos (metales) de la Tabla 2: Límites Máximos Permisibles para los Constituyentes Tóxicos en el Extracto PECT
- Revisar la distribución y forma de extracción de estos constituyentes tóxicos en México y en el mundo
- Señalar los diferentes usos y aplicaciones de los constituyentes tóxicos inorgánicos (metales) en el Extracto PECT, tanto en la vida cotidiana como en la industria química

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.

Se realizará una revisión detallada los constituyentes inorgánicos (metales) de la Tabla 2: Límites Máximos Permisibles para los Constituyentes Tóxicos en el Extracto PECT, ubicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos; para saber el origen de estos, así como las posibles consecuencias en caso de ocurrir un accidente donde estén presentes estos constituyentes tóxicos inorgánicos (metales).

CAPÍTULO 2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

2.1. LA TABLA PERIÓDICA.

En la Figura 2.1 se puede observar que la tabla periódica se divide normalmente en metales en la parte inferior izquierda, no metales en la parte superior derecha, y los semimetales o metaloides en la zona intermedia. Los metales tienen altos puntos de fusión y ebullición, además de que son brillantes; los no metales al contrario, tienen bajo puntos de fusión y ebullición, y no son brillantes. Finalmente los metaloides o semimetales, tienen características tanto metálicas como no metálicas (Rodgers, 1995).

Chang (2002), menciona en su libro de Química, que la importancia y la utilidad de la tabla periódica radican en el hecho de que mediante el conocimiento de las propiedades y las tendencias generales dentro de un grupo o periodo, se predice, con bastante exactitud, las propiedades de cualquier elemento, aun cuando no sea común el elemento.

1A 1 1 H	2A 2 2 Li Be											3A 13 5 B	4A 14 6 C	5A 15 7 N	6A 16 8 O	7A 17 9 F	8A 18 10 Ne		
11 Na	12 Mg	3B 3 21 Sc	4B 4 22 Ti	5B 5 23 V	6B 6 24 Cr	7B 7 25 Mn	8B 8 26 Fe			9 27 Co	10 28 Ni	1B 11 29 Cu	2B 12 30 Zn	13 31 13 Al	14 32 14 Si	15 33 15 P	16 34 16 S	17 35 17 Cl	18 36 18 Ar
19 K	20 Ca	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
37 Rb	38 Sr	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
55 Cs	56 Ba	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110	111	112		114		116				
87 Fr	88 Ra																		

Metales	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
Metaloides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No
No metales														

Figura 2. 1 Tabla periódica de los elementos en la que se aprecia la división de los elementos en metales, metaloides y no metales (Brown *et al.*, 2004).

CAPÍTULO 2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Revisando la Figura 2. 2 la cual es la versión del 1 de mayo de 2013 de la tabla periódica de la IUPAC y apoyándonos en la Figura 2.1, se puede observar que 6 de los contaminantes son metales de transición, es decir que ocupan la parte media de la tabla periódica en los periodos 4, 5, 6 y 7. Todos ellos son metales, y generalmente se encuentran solo en compuestos en la naturaleza; se puede ver además un metaloide (arsénico) los cuales tiene algunas propiedades características de los metales y otras de los no metales, por ejemplo no conducen también la electricidad como los metales, pero no son aislantes como los no metales; y finalmente un no metal (selenio) los cuales no conducen la electricidad (Joesten *et al.*, 2000).

IUPAC Periodic Table of the Elements

1																	18																		
1 H hydrogen <small>(1.007, 1.008)</small>																	2 He helium <small>4.003</small>																		
3 Li lithium <small>(6.941, 6.947)</small>	4 Be beryllium <small>9.012</small>	Key: atomic number Symbol name standard atomic weight										5 B boron <small>(10.81, 10.83)</small>	6 C carbon <small>(12.01, 12.02)</small>	7 N nitrogen <small>(14.01, 14.01)</small>	8 O oxygen <small>(15.99, 16.00)</small>	9 F fluorine <small>18.99</small>	10 Ne neon <small>20.18</small>																		
11 Na sodium <small>22.99</small>	12 Mg magnesium <small>(24.31, 24.31)</small>											13 Al aluminium <small>26.98</small>	14 Si silicon <small>(28.09, 28.09)</small>	15 P phosphorus <small>30.97</small>	16 S sulfur <small>(32.06, 32.06)</small>	17 Cl chlorine <small>(35.45, 35.46)</small>	18 Ar argon <small>39.95</small>																		
19 K potassium <small>39.10</small>	20 Ca calcium <small>40.08</small>	21 Sc scandium <small>44.96</small>	22 Ti titanium <small>47.87</small>	23 V vanadium <small>50.94</small>	24 Cr chromium <small>52.00</small>	25 Mn manganese <small>54.94</small>	26 Fe iron <small>55.85</small>	27 Co cobalt <small>58.93</small>	28 Ni nickel <small>58.69</small>	29 Cu copper <small>63.55</small>	30 Zn zinc <small>(65.382)</small>	31 Ga gallium <small>69.72</small>	32 Ge germanium <small>72.63</small>	33 As arsenic <small>74.92</small>	34 Se selenium <small>(75.962)</small>	35 Br bromine <small>(79.90, 79.91)</small>	36 Kr krypton <small>83.80</small>																		
37 Rb rubidium <small>85.47</small>	38 Sr strontium <small>87.62</small>	39 Y yttrium <small>88.91</small>	40 Zr zirconium <small>91.22</small>	41 Nb niobium <small>92.91</small>	42 Mo molybdenum <small>(95.962)</small>	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium <small>101.1</small>	45 Rh rhodium <small>102.9</small>	46 Pd palladium <small>106.4</small>	47 Ag silver <small>107.9</small>	48 Cd cadmium <small>112.4</small>	49 In indium <small>114.8</small>	50 Sn tin <small>118.7</small>	51 Sb antimony <small>121.8</small>	52 Te tellurium <small>127.6</small>	53 I iodine <small>126.9</small>	54 Xe xenon <small>131.3</small>																		
55 Cs caesium <small>132.9</small>	56 Ba barium <small>137.3</small>	57-71 Lanthanoids	72 Hf hafnium <small>178.5</small>	73 Ta tantalum <small>180.9</small>	74 W tungsten <small>183.8</small>	75 Re rhenium <small>186.2</small>	76 Os osmium <small>190.2</small>	77 Ir iridium <small>192.2</small>	78 Pt platinum <small>195.1</small>	79 Au gold <small>197.0</small>	80 Hg mercury <small>200.6</small>	81 Tl thallium <small>(204.3, 204.4)</small>	82 Pb lead <small>207.2</small>	83 Bi bismuth <small>208.9</small>	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon																		
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium			114 Fl flerovium			116 Lv livermorium																		
																		57 La lanthanum <small>138.9</small>	58 Ce cerium <small>140.1</small>	59 Pr praseodymium <small>140.9</small>	60 Nd neodymium <small>144.2</small>	61 Pm promethium	62 Sm samarium <small>150.4</small>	63 Eu europium <small>152.0</small>	64 Gd gadolinium <small>157.3</small>	65 Tb terbium <small>158.9</small>	66 Dy dysprosium <small>162.5</small>	67 Ho holmium <small>164.9</small>	68 Er erbium <small>167.3</small>	69 Tm thulium <small>168.9</small>	70 Yb ytterbium <small>173.1</small>	71 Lu lutetium <small>175.0</small>			
																		89 Ac actinium	90 Th thorium <small>232.0</small>	91 Pa protactinium <small>231.0</small>	92 U uranium <small>238.0</small>	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium			



Notes

- IUPAC 2011 Standard atomic weights abridged to four significant digits [Table 4 published in *Pure Appl. Chem.* 85, 1047-1078 (2013); <http://dx.doi.org/10.1351/PAC-REP-13-03-02>. The uncertainty in the last digit of the standard atomic weight value is listed in parentheses following the value. In the absence of parentheses, the uncertainty is one in that last digit. An interval in square brackets provides the lower and upper bounds of the standard atomic weight for that element. No values are listed for elements which lack isotopes with a characteristic isotopic abundance in natural terrestrial samples. See PAC for more details.
- "Aluminum" and "caesium" are commonly used alternative spellings for "aluminium" and "caesium."
- Claims for the discovery of all the remaining elements in the last row of the Table, namely elements with atomic numbers 113, 115, 117 and 118, and for which no assignments have yet been made, are being considered by a IUPAC and IUPAP Joint Working Party.

For updates to this table, see iupac.org/reports/periodic_table/. This version is dated 1 May 2013.
Copyright © 2013 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Figura 2. 2 Tabla periódica de los elementos (IUPAC, 2013).

2.2. DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LOS CONTAMINANTES INORGÁNICOS DEL EXTRACTO PECT.

Tabla 2. 1 Descripción física de los contaminantes.

Contaminante	Forma natural	Descripción
Arsénico (As)		Elemento químico: metal cristalino brillante, gris.
Bario (Ba)		Elemento químico: metal brillante blanco amarillento.
Cadmio (Cd)		Elemento químico: metal brillante azulado.
Cromo (Cr)		Elemento químico: metal duro, gris plateado.
Mercurio (Hg)		Elemento químico: liquido plateado.
Plata (Ag)		Elemento químico: metal blanco, blando, brillante.
Plomo (Pb)		Elemento químico: metal gris, pesado, blando, maleable.
Selenio (Se)		Elemento químico: no metálico, gris de acero, brillante.

Fuente: Plunkett, (1974) y Pniok, (2014).

En la tabla 2.1 se hace una breve descripción física de los contaminantes del extracto PECT, así como las fotografías del alemán Heinrich Pniok para ilustrar dichos elementos. Como mencionan Bellama y Umland (2000), los metales son lustrosos cuando sus superficies están limpias; todos ellos excepto el mercurio, que es líquido, son sólidos bajo condiciones ordinarias. Por lo general, los metales conducen bien el calor y la electricidad, y se pueden laminar o forjar para formar hojas (son maleables) y se pueden hilar para formar alambres (son dúctiles). Sus propiedades químicas varían mucho.

2.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS CONTAMINANTES DEL EXTRACTO PECT.

Las propiedades son cualidades y atributos que se pueden utilizar para distinguir una muestra de materia de otra. Pueden establecerse visualmente en algunos casos. Las propiedades de la materia se agrupan generalmente en dos amplias categorías: propiedades físicas y propiedades químicas (Harwood *et al.*, 2003).

Se puede ver en la tabla 2.2 los datos generales de estos constituyentes tóxicos del extracto PECT; analizando la tabla anterior y la tabla 2.3 se puede apreciar que el Plomo (Pb) es el elemento con mayor masa atómica, siguiéndole el mercurio y después el bario y así sucesivamente, esto se debe a que en la tabla periódica el tamaño de los elementos o bien radio atómico aumenta de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, y como el Plomo (Pb) es el elemento con el mayor número atómico, por consiguiente es el de mayor tamaño, seguido del Hg, Ba, Cd, Ag, Se, As y Cr (IUPAC, 2013).

Tabla 2. 2 Datos generales de los Constituyentes tóxicos en el extracto PECT.

No. CAS	Contaminante	Formula Química	Nombre IUPAC	Masa Atómica g / gmol	Estado ordinario
7440-38-2	Arsénico	As	arsénico	74.92	Sólido
7440-39-3	Bario	Ba	bario	137.3	Sólido
7440-43-9	Cadmio	Cd	cadmio	112.4	Sólido
7440-47-3	Cromo	Cr	cromo	52.00	Sólido
7439-97-6	Mercurio	Hg	mercurio	200.6	Líquido
7440-22-4	Plata	Ag	plata	107.9	Sólido
7439-92-1	Plomo	Pb	plomo	207.2	Sólido
7782-49-2	Selenio	Se	selenio	78.96	Sólido

Fuente: The Merck Index, (2001).

La tabla 2.3 muestra propiedades fundamentales de los constituyentes tóxicos inorgánicos, donde se puede observar que los 8 contaminantes pertenecen a los periodos 4, 5 y 6 y como ocupan la parte central de la tabla periódica, la gran mayoría son metales de transición, con excepción del Arsénico y del Selenio, en el que uno es un metaloide y el otro un no metal, respectivamente (The Merck Index, 2001).

Tabla 2. 3 Propiedades fundamentales de los Constituyentes tóxicos en el extracto PECT.

No. CAS	Contaminante	Grupo	Periodo	Numero atómico	Estados de oxidación	Metal, no metales, metales de transición, metaloides
7440-38-2	Arsénico	15	4	33	-3, +3, +5	Metaloide
7440-39-3	Bario	2	6	56	+2	Metal alcalinotérreo
7440-43-9	Cadmio	12	5	48	+2	Metal de transición
7440-47-3	Cromo	6	4	24	+2, +3, +6	Metal de transición
7439-97-6	Mercurio	12	6	80	+1, +2	Metal de transición
7440-22-4	Plata	11	5	47	+1	Metal de transición
7439-92-1	Plomo	14	6	82	+2, +4	Metal de transición
7782-49-2	Selenio	16	4	34	-2, +4, +6	No metal

Fuente: The Merck Index, (2001) e IUPAC, (2013).

Las sustancias se caracterizan por sus propiedades y por su composición. El color, punto de fusión y punto de ebullición son propiedades físicas. Una propiedad física se puede medir y observar sin que cambie la composición o identidad de la sustancia (Chang, 2002).

En la tabla 2.4 se describen, algunas propiedades físicas y químicas de los contaminantes; los 8 contaminantes son más densos que el agua (1g/cm^3), los metales son pesados, aun el mercurio siendo líquido; tomando en cuenta esto los metales tienen gran cantidad de materia en pequeños volúmenes, por eso es que son más densos.

Harwood *et al.*, (2003) mencionan en su libro de Química General, que algunas veces una muestra de materia cambia su aspecto físico, es decir, experimenta una transformación física. En una transformación física pueden cambiar algunas de las propiedades físicas de la muestra de materia, pero su composición permanece inalterada. En la tabla se pueden observar las temperaturas de ebullición y fusión, donde se aprecian las transformaciones físicas antes mencionadas, ya que el punto de ebullición es cuando pasa el metal de su estado líquido a un estado gaseoso y el punto de fusión donde el metal pasa de un estado sólido a un estado líquido.

Tabla 2. 4 Propiedades Físicas y Químicas.

No. CAS	Contaminante	Densidad g/cm^3 a 20°C	Punto de ebullición ($^\circ\text{C}$)	Punto de fusión ($^\circ\text{C}$)
7440-38-2	Arsénico	5.73	613	817
7440-39-3	Bario	3.51	1640	725
7440-43-9	Cadmio	8.65	765	321
7440-47-3	Cromo	7.14	2672	1857
7439-97-6	Mercurio	13.58	356.58	-38.87
7440-22-4	Plata	10.49	2212	961.93
7439-92-1	Plomo	11.35	1740	327.502
7782-49-2	Selenio	4.79	685	217

Fuente: Rodgers, (1995).

Las propiedades químicas son las propiedades exhibidas por la materia cuando sufre cambios en su composición. Estas propiedades de las sustancias se relacionan con las clases de cambios químicos que sufren las sustancias (Davis *et al.*, 1998). En la tabla 2.5, se observa la solubilidad en agua, como en compuestos orgánicos, que tienen estos constituyentes tóxicos.

Tabla 2. 5 Solubilidad de los constituyentes tóxicos.

No. CAS	Contaminante	Solubilidad en agua	Solubilidad en compuestos orgánicos
7440-38-2	Arsénico	Insoluble, algunas sales son solubles	Insoluble
7440-39-3	Bario	Se descompone; se combina con los sulfatos presentes en las aguas naturales para formar BaSO ₄ , el cual tiene una solubilidad de 1.6 mg/L a 20 °C	Es soluble en alcohol, insoluble en benceno
7440-43-9	Cadmio	Sus sales son solubles en agua; el metal es insoluble	Variable.
7440-47-3	Cromo	Insoluble; algunos compuestos son solubles	Variable
7439-97-6	Mercurio	81.3 µg/L a 30 °C; algunas sales y compuestos orgánicos son solubles	Depende de la especie química.
7440-22-4	Plata	Insoluble (algunos compuestos son solubles)	Soluble en soluciones de cianuro de álcali
7439-92-1	Plomo	Insoluble, algunos compuestos orgánicos son solubles.	Soluble en HNO ₃ y H ₂ SO ₄ caliente
7782-49-2	Selenio	Insoluble	Cristales ligeramente solubles en disulfuro de carbono, soluble en éter; las formas amorfas son solubles en disulfuro de carbono, yoduro de metilo y benceno.

Fuente: Arcos *et al.*, (1992).

CAPÍTULO 3. TÓXICOLOGÍA.

3.1. GENERALIDADES.

Con frecuencia se utilizan los términos de tóxico y veneno haciendo una distinción popular al atribuir la denominación de veneno a aquella sustancia que ha sido suministrada con fines lesivos premeditados y dejar el nombre de tóxico a la sustancia que aunque puede ocasionar daño no se suministra con esta intención. Se acepta, también en forma popular, la idea de que veneno es aquello que tiene naturaleza intrínsecamente peligrosa aun en dosis pequeñas, y tóxico, aquello que puede ocasionar daño pero no por la naturaleza misma de la sustancia (Córdoba, 2006).

Córdoba (2006), hace hincapié en una definición de toxicología bastante amplia y menciona que es el estudio científico de cualquier elemento que ingerido, inhalado, aplicado, inyectado o absorbido, es capaz de por sus propiedades físicas o químicas, de provocar alteraciones orgánicas o funcionales y aun la muerte; además de su comportamiento, su metabolismo, sus mecanismos de acción, las lesiones que ocasionan, su forma de acumulación, excreción y el tratamiento adecuado para proteger el organismo afectado.

En las industrias generalmente los trabajadores son los que están en mayor riesgo de exposición a los residuos peligrosos, por lo que es necesario proporcionarles información sobre los diversos productos químicos a los que están expuestos y los efectos que estos producen sobre la salud y el ambiente. Muchos sistemas del cuerpo humano pueden ser afectados por sustancias químicas, la mayoría de las exposiciones ocupacionales ocurren por vía como la piel, el tracto respiratorio, ojos y tracto digestivo. Las formas en las que estas sustancias pueden afectar el organismo son variadas y dependen de características individuales, tales como la talla, peso, edad, etc. La acción del daño puede ser lentamente (crónico) o rápidamente (agudo) (Arcos *et al.*, 1992).

3.1.1. TIPOS DE EXPOSICIÓN.

3.1.1.1. EXPOSICIÓN AGUDA.

En toxicología, los efectos agudos son generalmente definidos como resultado de una exposición simple o una exposición múltiple en 24 horas o menos. Un factor importante en las exposiciones agudas es la velocidad en que la sustancia química se absorbe. Si una sustancia se absorbe rápidamente, los efectos se presentan inmediatamente. Otro factor que debe ser considerado es la frecuencia de la exposición. Dos exposiciones de la mitad de la cantidad de una sustancia generalmente produce menos efectos que una exposición mayor. Esto puede ser debido a la habilidad del cuerpo para transformar o alterar algunas de las sustancias químicas con el tiempo. También el cuerpo puede estar adaptado para restablecerse de algunos daños, si pasa suficiente tiempo entre las exposiciones (Arcos *et al.*, 1992).

3.1.1.2. EXPOSICIÓN CRÓNICA.

Los efectos crónicos de una sustancia química pueden incluir efectos inmediatos y sumarse a efectos a largo plazo. El término de exposiciones cortas se refiere a aquellas de una semana o menos. Los efectos tóxicos crónicos se llevan a cabo siempre que hay acumulación de agentes en un sistema biológico, en el cual la absorción es mayor que la eliminación de estos en el cuerpo. Las exposiciones crónicas presentan mayor dificultad de estudio que las exposiciones agudas, en las primeras, están involucrados largos períodos de tiempo y diferentes vías de entrada de la sustancia al cuerpo (Arcos *et al.*, 1992).

3.2. NIVELES AMBIENTALES Y EXPOSICIONES.

3.2.1. ARSÉNICO.

Con la excepción de los algunos tipos de peces, crustáceos y algas marinas, la mayoría de alimentos contiene niveles bajos de arsénico, normalmente por debajo de 0.25 mg/kg (Nakao, 1960; Rydälv y Westöö, 1972; Corneliussen y Jelinek, 1977). El grado de absorción de arsénico en las plantas está aparentemente relacionado con la concentración de arsénico soluble en el suelo, la composición química del suelo, y las especies de plantas (Keeney *et al.*, 1977). Las concentraciones de arsénico en los organismos marinos y algas son, en general, considerablemente más altas que los de otros alimentos. Muchas especies de peces contienen entre 1 y 10 mg/kg (Horibe *et al.*, 1971; Lunde, 1973; Rydälv y Westöö, 1972; Bryce *et al.*, 1974).

El vino elaborado con uvas rociadas con insecticidas que contienen arsénico puede contener altos niveles de arsénico. Se han reportado niveles de hasta 0.5 mg/L, la mayor parte del arsénico está en la forma inorgánica trivalente. (Crecelius, 1977). Brinkmann y Zoeteman (1976) reportaron una concentración media de 0.02 mg/L (rango de 0.001 a 0.19 mg/L) en el agua mineral embotellada en los EE.UU. El arsénico en el agua mineral es probablemente de origen natural.

La cantidad de arsénico ingerido diariamente por los humanos vía alimentaria está fuertemente influenciado por la cantidad de pescados y mariscos en la dieta. En un estudio realizado en los EE.UU., una dieta especial con exclusión de los mariscos se tradujo en un promedio de toma de 0.04 mg de arsénico por persona al día, mientras que una dieta más típica arrojó 0.19 mg por persona al día (Balassa y Schroeder, 1966). Corneliussen y Jelinek (1977) señalaron que los alimentos que pertenecen a la carne, pescado, y los grupos de aves de corral aportaron la mayor parte del arsénico ingerido. Ellos estimaron la ingesta diaria

promedio de arsénico en los alimentos en los EE.UU. a principios de los años 60 en 0.01-0.02 mg.

La ingesta diaria de arsénico total en Japón se reporta en 0.07 a 0.37 mg por persona (Nakao, 1960; Inamasu *et al.*, 1974).

3.2.2. BARIO.

El bario constituye aproximadamente el 0.04% de la corteza terrestre, con la mayor parte de la aparición concentrada en ciertos tipos de roca. Los suelos agrícolas contienen Ba^{2+} en el intervalo de varios μg por gramo. La concentración del elemento en el agua de mar es $6 \mu\text{g/L}$; y en aguas dulces $7\text{-}15,000 \mu\text{g/L}$ (en promedio $50 \mu\text{g/L}$). La agencia de protección del medio ambiente de los EE.UU. (USEPA), en virtud de la Ley de Agua Potable, ha establecido límite de 1 mg Ba/L para las aguas municipales en los EE.UU. En el aire urbano, la concentración promedio de bario fue de 5 (rango $0\text{-}1,500$) ng/m^3 en 18 ciudades de EE.UU. (Nason *et al.*, 1972).

El bario se ha encontrado en diversos organismos (plantas y animales). Animales marinos concentran el elemento entre $7\text{-}100$ veces, y plantas marinas $1,000$ veces desde el agua de mar. Entre las plantas terrestres, roble, fresno, abeto de Douglas, el nogal, y en particular la nuez de Brasil son los más fuertes acumuladores de bario del suelo. La soja y los tomates también acumulan bario del suelo de $2\text{-}20$ veces (Edgington *et al.*, 1950).

Generalmente, el contenido de bario de la comida es proporcional al contenido de calcio, en una relación $1/10^2\text{-}10^5$. Expresado como μg de Ba / g de Ca, los valores típicos en la leche fueron 45 a 136 ; en la harina de trigo, $1,300$; y en la avena, $2,320$ a $8,290$ (Henderson *et al.*, 1962).

En una dieta de hospital estadounidense, el consumo diario promedio de bario se estimó en 375 µg, mientras que en la dieta de la población en general, puede ser tan alto como 1.33 mg (Nason *et al.*, 1972). Grummitt (1961) estimó que la ingesta en la dieta típica de bario se origina, 25% a partir de leche, 25% de harina, 25% a partir de papas, y 25% de los alimentos misceláneos con altos contenidos de bario que se consumen en cantidades menores.

3.2.3. CADMIO.

Las estimaciones de la ingesta diaria de cadmio en los alimentos individuales y en la dieta total, se han realizado en varios países. En zonas no contaminadas la ingesta diaria promedio es por lo general en el rango de 10 a 60 µg / día para una persona de 70 kg (Elinder, 1985). En la tabla 3.1 se aprecian las concentraciones (mg Cd / kg) en distintos productos alimenticios básicos. Hay una tendencia de los valores a ser menores en Europa y América del Norte, que en Japón. En zonas rurales no contaminadas de Japón, la ingesta diaria de cadmio se ha estimado en 59 a 113 µg. En las zonas contaminadas de Japón, se reportaron ingestas diarias medias de hasta 400 µg (Japanese Association of Public Health, 1970).

Tabla 3. 1 Concentraciones (valores medios mg Cd / kg de peso húmedo) en distintos productos alimenticios.

Productos alimenticios	mg Cd/ kg (con humedad)
Carne de res	0.005 - 0.02
Riñones de ternera	0.2 – 1.3
Pescado (no cangrejo)	0.004 – 0.01
Ostras	0.1 – 4.7
Granos de trigo	0.005 – 0.08
Arroz	0.008 – 0.13
Papas	0.01 – 0.06
Leche	0.00017 – 0.002

Fuente: Elinder, (1985).

En el agua natural, el cadmio se encuentra principalmente en los sedimentos del fondo y en las partículas suspendidas, mientras que la concentración en la fase líquida es baja. Las concentraciones de cadmio en las aguas naturales no contaminadas por lo general son inferiores a 1 µg/L. La contaminación del agua potable puede ocurrir como resultado de las impurezas de cadmio-zinc, en tubos galvanizados y soldados, en calentadores de agua, enfriadores de agua, y grifos. También se ha producido filtración de cadmio de las aguas subterráneas a partir de lodos de óxido de cadmio (CdO) vertido. Concentraciones de hasta 16 mg/kg se han reportado en los jugos de fruta que estaban en contacto con las partes que contienen cadmio (CdO) de las máquinas expendedoras (Nordberg *et al.*, 1973).

El cadmio en el aire se presenta en forma de partículas. La forma química exacta rara vez se ha reportado, pero es probable que el óxido de cadmio es un componente importante (Friberg *et al.*, 1974).

3.2.4. CROMO.

El consumo diario de cromo través de los alimentos se ha estimado en el intervalo de 0.03-0.1 mg (Mommensen-Straub y Schlettwein-Gsell, 1973). Fishbein (1976) estima que la ingesta media diaria es de 280.4 y 0.28 µg en alimentos, agua y aire, respectivamente. Otras fuentes contribuyen sólo en cantidades menores en relación con estos valores, que representan también una estimación de la ingesta diaria total de cromo para la población general. Los alimentos varían considerablemente en la concentración de cromo. Entre las grandes fuentes de cromo se encuentran la carne, las verduras y el azúcar sin refinar; mientras que el pescado, aceites vegetales y las frutas contienen cantidades más pequeñas.

La concentración de cromo en los ríos y lagos es por lo general entre 1 y 10 µg/L. que en el agua de mar es considerablemente menor: de < 0.1 a aproximadamente 5 µg/L. El agua potable se ha informado que contienen cantidades más altas de cromo que el agua de río. La concentración media de cromo en la corteza terrestre es de 125 mg/kg (NAS, 1974).

Las concentraciones en el aire urbano de cromo se han registrado en menos de 10 ng/m³ hasta 50 ng/m³. La mayor exposición humana a cromo trivalente (Cr³⁺) en la población general es a través de los alimentos. No se han observado efectos adversos a dicha exposición (NAS, 1974).

3.2.5. MERCURIO.

El metilmercurio, formado en el sedimento del fondo del océano y en los sistemas de agua dulce, se ha enriquecido en gran medida en la cadena alimentaria acuática, los niveles más altos se producen en los peces depredadores. Desde el medio acuático, el metilmercurio se incorpora en el medio terrestre por las especies que se alimentan de organismos acuáticos. Sin embargo, el enriquecimiento no se ha visto en la misma medida en la cadena alimentaria terrestre. Los grandes atunes que superan los 60 kg tienen niveles de hasta 1 mg/kg de metilmercurio en sus músculos (Klawe *et al.*, 1973), mientras que los animales terrestres no suelen tener niveles en los músculos superiores a 50 µg/kg y en general un promedio de 20 µg/kg (Swedish Expert Group, 1971).

Una gran parte del mercurio en los alimentos, por lo menos en los productos animales es probable que sea en la forma de metilmercurio. La mayor proporción del mercurio en los peces es metilmercurio. Dado que la concentración de mercurio en los productos alimenticios salvo el pescado varía desde unos pocos microgramos a 50 µg/kg, la ingesta diaria de metilmercurio depende

principalmente del consumo de pescado y las concentraciones de metilmercurio en el pescado que se consume (Bouquiaux, 1974).

El mercurio disuelto en aguas no contaminadas y en agua dulce es de 1-10 ng/L. Sin embargo, los sedimentos del fondo de los lagos y de los océanos pueden contener 20 a 250 µg/kg de mercurio (Jernelöv *et al.*, 1984).

La concentración de mercurio en la atmósfera general varía desde unos pocos ng/m³ en zonas no contaminadas, hasta alrededor de 20 ng/m³ en zonas urbanizadas (Williston, 1968). Los altos niveles de mercurio han sido reportados en la atmósfera cerca de los volcanes activos, hasta los 18 µg/m³ (Siegel y Siegel, 1979). La exposición al vapor de mercurio es la forma más común de la exposición ocupacional de mercurio. La exposición al vapor de mercurio se produce en una variedad de industrias, por ejemplo, en la minería del mercurio, la fabricación de instrumentos, así como los laboratorios médicos.

3.2.6. PLATA.

La plata puede ser ingerida a través del consumo de organismos marinos que contienen bajas concentraciones, y en pequeñas cantidades liberadas de los rellenos dentales (Leirskar, 1974) y utensilios para comer (Harvey, 1970).

El agua de mar se ha reportado que contiene concentraciones de plata de 0.055 a 1.5 µg/L (Schutz y Turekian, 1965). El agua potable no tratada con plata para la desinfección general contiene concentraciones extremadamente bajas de plata.

3.2.7. PLOMO.

Los niveles de plomo reportados por la comida varían mucho dependiendo del estudio. El National Research Council estima que la exposición al plomo a través de los alimentos en los adultos estadounidenses varía de 100 a 200 $\mu\text{g}/\text{día}$ (NAS,1980). Las concentraciones de plomo en los alimentos típicos de los EE.UU. varían de 0.1 a 0.5 $\mu\text{g}/\text{g}$ (USEPA, 1977). En la figura 3.1 se muestra la concentración (mg Pb /kg) de plomo, en carne de consumo habitual.

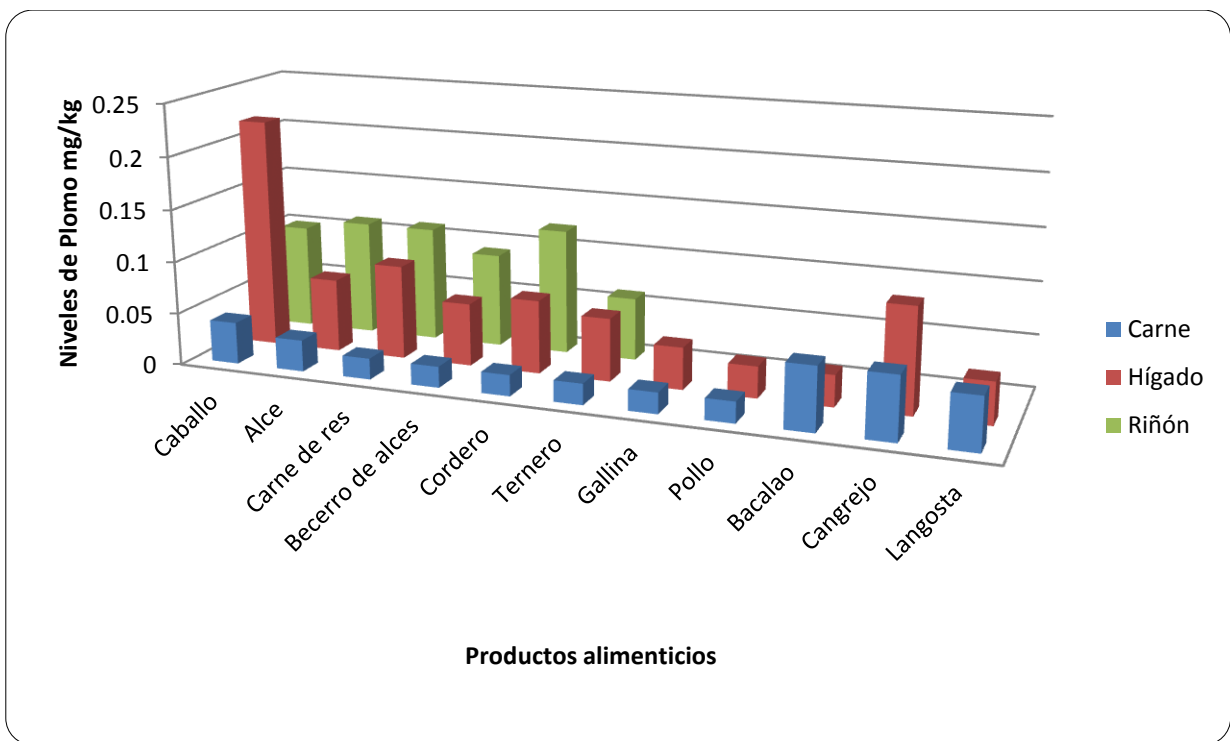


Figura 3. 1 Plomo contenido en carne, hígado y riñón en diferentes animales (Jorhem et al., 1984)

La Tabla 3.2 compara los niveles de plomo en los alimentos frescos y en conserva. Los alimentos enlatados contienen niveles de plomo considerablemente más altos que el alimento fresco; esto es más evidente en las frutas. Se debe mencionar, sin embargo, que cuando se utilizan las técnicas de envasado modernas sin soldadura de plomo, la exposición al plomo no debe constituir ningún problema.

Tabla 3. 2 Contenido de plomo en los alimentos (µg/g con humedad).

	Sin enlatar	Enlatado
Productos lácteos y huevos		
Leche	0.02	0.10 – 0.13
Mantequilla	0.07	-
Helado	0.01	-
Queso	0.05	-
Huevos	0.17	-
Carne y aves de corral		
Carne de res, cerdo, cordero, ternera	0.06	0.24
Aves de corral	0.12	0.24
Hamburguesa	0.25	-
Hígado de res	0.09	-
Cereales, nueces y productos del azúcar		
Harina (blanca)	0.05	-
Pan (blanco)	0.08	-
Cereales (desayuno)	0.11	-
Mantequilla de maní	0.06	-
Azúcar (refinada)	0.03	-
Verduras		
Papas	0.05	0.12
Col	0.01 – 0.04	0.08
Lechuga	0.12 – 0.15	0.39
Frijoles	0.01 – 0.04	0.16 – 0.32
Chícharos	0.03	0.27
Zanahorias	0.14	0.13
Cebollas	0.18	0.32
Tomates	0.05 – 0.08	0.30 – 0.37
Pepinos	0.02	-
Frutas		
Cítricos (naranjas, limones)	0.01	0.39
Manzanas	0.02	0.22
Cerezas	0.02	0.39
Peras	0.02	0.18 – 0.19
Pescados y mariscos		
Salmón	0.39	0.72
Caballa	0.40	0.99
Atún		0.45
Bacalao	0.06	-
Ostras	0.17	-
Almejas	0.21	-

Fuente: Jelinek (1982) y Nutrition Foundation (1982)

El agua superficial generalmente contiene plomo en concentraciones por debajo de 100 µg/L y en zonas no contaminadas de la concentración es de aproximadamente 1 µg/L (Kopp y Kroner, 1970).

3.2.8. SELENIO.

Un amplio rango de las concentraciones de selenio se encuentra en los productos alimenticios. La concentración depende de la clase de alimentos, y de la disponibilidad de selenio en la tierra donde se cultivan las plantas. Las verduras y frutas son en su mayoría de bajo contenido de selenio (< 0.01 µg/g). Sin embargo, algunos productos como el ajo y las setas contienen 0.25 y 0.12 µg/g, respectivamente. Los productos cárnicos varían mucho, de 0.03 µg/g a 4.17 µg/g con un valor medio de 0.3 µg/g. Estos valores más altos se han encontrado en los riñones. Los mariscos generalmente contienen más selenio (alrededor de 0.5 µg/g) que la carne. Los productos de granos y cereales contienen de 0.01 µg/g a 0.67 µg/g, dependiendo del tipo de producto y en la que se cultiva. Alrededor del 80% de selenio se absorbe de los alimentos. (Lindber, 1968; Levander y Morris, 1970).

El nivel atmosférico de selenio en la mayoría de las regiones urbanas oscila de 0.1 a 10 ng/m³ (Reamer y Zoller, 1976). Una mayor parte del selenio atmosférico está destinado a la ceniza volante y a las partículas suspendidas que contienen 1.4 a 11 y de 1 a 110 µg/g, respectivamente (Gordon *et al.*, 1978).

Hasta el 90% del contenido de selenio en el aire se emite durante la combustión de combustibles fósiles (Kut, 1981).

Los niveles de selenio en el agua de mar van desde 0.06 hasta 0.12 µg/L. Los niveles varían ampliamente en las aguas subterráneas y de superficie, de 0.06 a alrededor de 400 µg/L, en algunas zonas el agua subterránea pueden alcanzar concentraciones de hasta 6,000 µg/L (Scott y Voegeli, 1961; Cannon, 1964).

3.3. ABSORCIÓN.

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. No pueden ser degradados o ser destruidos. En un grado pequeño se incorporan al cuerpo vía el alimento, el agua potable y el aire. Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. Los metales pesados pueden entrar a un abastecimiento de agua por medio de residuos industriales y se deposita en corrientes, como los lagos, los ríos, etc. (Lenntech, 2014). En la tabla 3.3 se presentan los tipos de absorción de los metales pesados en los seres vivos.

Tabla 3. 3 Tipo de absorción en los seres vivos.

Contaminante	Absorción
Arsénico	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalación – Ingestión – Percutáneo
Bario	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalación – Ingestión
Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalación – Ingestión a través de los alimentos y bebidas ácidos contenidos en recipientes revestidos con cadmio
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalación – Percutáneo
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalación – Ingestión – Percutáneo
Plata	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalación – Ingestión
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalación – Ingestión
Selenio	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalación – Ingestión – Percutáneo

Fuente: Plunkett, E.R. (1974).

3.4. CONCENTRACIONES MÁXIMAS PERMISIBLES.

En la tabla 3.4 se observa que 3 dependencias (OSHA, NIOSH y ACGIH) de los EE.UU. muestran concentraciones muy semejantes en cuanto a los límites permitidos en el aire que se encuentra en un área de trabajo determinada. Es de tomar en cuenta que el cadmio, a diferencia de los otros metales pesados, es el que debe estar presente en el aire en una menor concentración; y no es porque sea demasiado tóxico, si bien es cierto que es carcinogénico, si no porque rara vez es encontrado en el aire como lo menciona Frieberg, *et al.* (1974). En el aire que se respira a diario es muy poco probable que se encuentren grandes concentraciones de estos metales pesados, ya que las minas donde podrían extraerse estos elementos están a las afueras de la Ciudad de México, al igual que las grandes industrias, que son las generadoras de contaminantes al medio ambiente; por ello esta tabla solo hace énfasis al aire que se pueda encontrar en un área de trabajo.

Tabla 3. 4 Concentraciones máximas permisibles para la calidad del aire en áreas de trabajo, de acuerdo a dependencias de los EE.UU.

Contaminante	Dependencia		
	OSHA (mg/m ³)	NIOSH (mg/m ³)	ACGIH (mg/m ³)
Arsénico	0.01	0.002	0.01
Bario	0.5	0.5	0.5
Cadmio	0.005	< 0.005	0.002
Cromo	0.5	0.5	0.5
Mercurio	0.1	0.05	0.05
Plata	0.01	0.01	0.01
Plomo	0.05	0.05	0.05
Selenio	0.2	0.2	0.2

Fuente: Centers for Disease Control and Prevention (2014), NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Method 7300, Table 2. Exposure Limits, CAS #, RTCES

La tabla 3.5 es una de las más importantes, debido a que se trata de la concentración de metales pesados en el agua potable, la misma agua que se toma a diario, el agua que se utiliza para lavar utensilios de cocina, el agua que se usa

para lavarse las manos, entre otros usos más. En México se cuenta con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, donde se encuentran las concentraciones permisibles de estos metales pesados en el agua potable; la NOM-052-SEMARNAT-2005, no tiene que ver con el agua potable, sino con las concentraciones máximas permisibles en el extracto PECT (El lixiviado a partir del cual se determinan los constituyentes tóxicos del residuo y su concentración con la finalidad de identificar si éste es peligroso por su toxicidad al ambiente.); pero es un buen parámetro para hacer una comparación entre las dos Normas Oficiales Mexicanas, donde se puede ver que la NOM-127-SSA1-1994 es muy rigurosa en cuanto a las concentraciones máximas permisibles y es de esperarse, porque se habla de agua para consumo humano, la cual contiene elementos tóxicos. En EE.UU. la USEPA, es la que se encarga de todos temas ambientales, por lo que esta publica las concentraciones máximas permisibles que se deben de encontrar en el agua potable en dicho país. Además de los datos de las USEPA y las normas oficiales mexicanas, se puede apreciar en la tabla, los límites máximos permisibles para la OMS, Brasil y el Salvador, los cuales son similares entres sí; lo que indica dice que la mayoría de los países se basa en los datos reportados por la OMS.

Tabla 3. 5 Concentraciones permitidas para metales pesados en el agua potable.

Contaminante (mg/L)	Dependencia					
	México NOM-052	México NOM-127	E.E.U.U USEPA	Mundial OMS	Brasil Portaria 36-GM	El Salvador NSO 130701
Arsénico	5	0.05	0.01	0.01	0.05	0.01
Bario	100	0.7	2	0.7	1	0.7
Cadmio	1	0.005	0.005	0.003	0.005	0.003
Cromo	5	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05
Mercurio	0.2	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
Plata	5	-	0.1	-	-	-
Plomo	5	0.01	0.015	0.01	0.05	0.01
Selenio	1	-	0.05	0.01	0.01	0.01

Fuentes: USEPA, (2014); NOM-052-SEMARNAT-2005; NOM-127-SSA1-1994; Armonización de los estándares en agua potable en las Américas, (2014)

3.5. DOSIS LETALES.

Para poder normar y reglamentar el uso de sustancias peligrosas se necesitan hacer estudios experimentales para saber el potencial de peligrosidad, esto se lleva a cabo administrando diferentes dosis a una población de animales de experimentación. La dosis de una sustancia química es el parámetro más significativo para la evaluación en los estudios de toxicidad porque las dosis normalmente se asocian con el incremento en los efectos tóxicos (Arcos et al. 1992).

En la tabla 3.6 se presentan las dosis letales para los 8 metales pesados analizados; estas dosis en algunos casos generaran la muerte, en otros solo intoxicación, ya que cada organismo es diferente.

Tabla 3. 6 Dosis letales

Contaminante	Dosis Letal (mg)
Arsénico	120
Bario	1,000
Cadmio	30
Cromo	5,000
Mercurio	1,000
Plata	2,000
Plomo	500
Selenio	1,000

Fuente: Klaassen y Watkins III, 2001

3.6. SIGNOS Y SÍNTOMAS.

A continuación se enlistan en la tabla 3.7 los signos y síntomas que se presentan por contaminación de arsénico, los cuales van desde los síntomas generales, dermatológicos, los que afectan el sistema nervioso central (se presentan después de 3 semanas o más de exposición continua) y los gastrointestinales. Existe evidencia significativa para afirmar que el arsénico es cancerígeno.

Tabla 3. 7 Signos y síntomas que se presentan por contaminación de Arsénico.

Arsénico	
Generales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Malestar y debilidad ▪ Fiebre ▪ Hormigueo o irritación de la piel ▪ Dolor de articulaciones
Dermatológicos (de 1 a 6 semanas)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oscurecimiento de la piel, puede localizarse en las aureolas mamarias, axilas e ingles ▪ Engrosamiento de la capa externa de la piel conllevando la aparición de callosidades, en las palmas de las manos y de las plantas del pie ▪ Irritación nasal y perforación del tabique ▪ Sequedad de garganta, ronquera y dificultad para comer ▪ Uñas quebradizas y de vez en cuando bandas blancas transversales ▪ Pérdida de cabello
Sistema nervioso central (aparecen al cabo de tres o más semanas de exposición)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adormecimiento, inflamación, hormigueo de mano y pies ▪ La exposición prolongada puede producir falta de coordinación. ▪ Alteración del sentido del tacto, del dolor, de la temperatura, de la vibración y de la posición ▪ Confusión mental
Gastrointestinal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Náuseas, vómito, dolor abdominal y diarrea

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

En la tabla 3.8 se muestran los signos y síntomas que se presentan al intoxicarse por la absorción de sales de bario. No existen informes de que el bario sea cancerígeno. Las formas insolubles de bario, particularmente el sulfato de bario ($BaSO_4$), no son tóxicas por ingestión o inhalación, debido a que solo se absorben cantidades mínimas. Sin embargo, los compuestos de bario solubles son altamente tóxicos en humanos.

Tabla 3. 8 Signos y síntomas por intoxicación por Bario.

Bario	
Sales solubles de bario	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irritación de los ojos y tracto respiratorio ▪ Inflamación de la piel ▪ Pérdida de cabello ▪ Mareos ▪ Escalofríos ▪ Vómitos ▪ Cólico, diarrea ▪ Respiración rápida ▪ Aumento de la tensión sanguínea y funcionamiento irregular del corazón ▪ Coloración azulada, negruzca de la piel ▪ Debilidad muscular y temblores ▪ Convulsiones y parálisis

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

En la siguiente tabla se muestran los signos y síntomas que se presentan por absorción de cadmio. Existe evidencia significativa de que el Cadmio es cancerígeno.

Tabla 3. 9 Signos y síntomas por absorción de Cadmio.

Cadmio	
Inhalación	<p>a) Agudos (periodo latente de 12-36 horas: Dolor de cabeza):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mareos ▪ Irritabilidad ▪ Alteraciones gastrointestinales ▪ Dolor de pecho intenso: sensación de opresión del pecho ▪ Tos con expulsión de sangre por una hemorragia pulmonar ▪ Deficiencia respiratoria ▪ Fiebre ▪ Transpiración muy abundante ▪ Enflaquecimiento ▪ Inflamación de los pulmonar <p>b) Crónicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hemorragia nasal ▪ Pérdida o disminución del sentido del olfato ▪ Insomnio ▪ Anorexia y Náuseas ▪ Pérdida de peso ▪ Lesiones en el hígado ▪ Anemia ▪ Franjas amarillas sobre el borde de los dientes
Ingestión al cabo de 15-30 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salivación ▪ Náuseas, vomito, dolor abdominal, diarrea, mareo ▪ Inconciencia

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

En la tabla 3.10 se muestran las principales afectaciones a la salud por contaminación de cromo. Una variedad de sales de Cromatos (Cr^{6+}) son cancerígenos. El cromo III (Cr^{3+}) es menos tóxico que el cromo VI (Cr^{6+}); su efecto más importante en humanos es una forma de dermatitis por contacto.

Tabla 3. 10 Principales afectaciones a la salud por contaminación de Cromo.

Cromo	
Piel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sensibilización a la inflamación de la piel ▪ Llagas en la piel, la mayoría en las manos, en la base de las uñas y en las articulaciones
Ojos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inflamaciones alrededor de los ojos
Tracto respiratorio superior (Cavidad nasal, fosa nasal, boca, garganta, laringe):	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perforación del tabique nasal ▪ Sangrado por la nariz ▪ Inflamación de la laringe ▪ Pérdida del sentido del olfato
Pulmón	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dolor en el pecho ▪ Dificultad para respirar, sensación de ahogo ▪ Tos ▪ Inflamación de los pulmones ▪ Cáncer de pulmón
Gastrointestinal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anorexia ▪ Náuseas ▪ Gastritis ▪ Úlceras en el intestino delgado ▪ Inflamación del colon del intestino (colitis)

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

A continuación en la tabla 3.11 se enlistan las principales afectaciones crónicas y agudas por absorción de Mercurio. No se han encontrado evidencias relevantes para encontrar una relación con la exposición de mercurio y efectos cancerígenos en animales y humanos. Lo cierto es que es un veneno para el sistema nervioso.

Tabla 3. 11 Afectaciones crónicas y agudas por absorción de Mercurio.

Mercurio	
Agudos	<p>a) Ingestión:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quemaduras en boca y garganta ▪ Sed ▪ Shock ▪ Arritmias cardiacas ▪ Náuseas, vómitos, dolor abdominal, diarrea ensangrentada ▪ Disminución de la formación de orina, presencia de sangre en la orina ▪ Problemas de riñón <p>b) Inhalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Salivación ▪ Sabor metálico ▪ Retorcijones abdominales y diarrea ▪ Dificultad para respirar, sensación de ahogo ▪ Fiebre, tos ▪ Falta de tranquilidad ▪ Inflamación en los pulmones
Crónicos	<p>a) Sistema nervioso central:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dolor de cabeza ▪ Mareos ▪ Inquietud ▪ Insomnio ▪ Perturbaciones en los vasos sanguíneos ▪ Falta de coordinación ▪ Temblores <p>b) Gastrointestinales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de salivación ▪ Inflamación de las encías con línea azul ▪ Anorexia, Náuseas, vómitos, diarrea ▪ A veces lesión en el hígado <p>c) Respiratorios:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pérdida o disminución del sentido del olfato ▪ Fiebre, tos ▪ Inflamación de las fosas nasales <p>d) Ojos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Coloración marrón en los ojos, señal temprana de intoxicación por mercurio ▪ Contracción de los campos visuales <p>e) Piel:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lesiones superficiales en la piel

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

La siguiente tabla nos enlista los signos y síntomas generales por envenenamiento con sales de plata. Existen pocas evidencias para sugerir que la plata tiene actividad cancerígena en animales y humanos.

Tabla 3. 12 Signos y síntomas generales por envenenamiento con sales de Plata.

Plata	
Envenenamiento por sales de plata (Argirismo o bien hombre azul):	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Color gris pizarra oscuro de distribución uniforme sobre la cara, frente, cuello, manos y antebrazos; los dedos pueden tener color castaño chocolate oscuro; se puede observar una ligera coloración en las partes cubiertas de la piel. El argirismo localizado se presenta cuando el individuo trabaja con pequeñas partículas metálicas, que penetran en la piel, produciendo un tatuaje. ▪ Las sales de plata por ingestión producen una grave inflamación intestinal al igual que del estómago y un estado de shock.

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

A continuación la tabla 3.13 se enlista los signos y síntomas generales que se presentan en las personas por contaminación con plomo. Existe evidencia de que muchas sales de Plomo son cancerígenas en animales. Los resultados concernientes a la carcinogenicidad del plomo en humanos están inconclusos.

Tabla 3. 13 Signos y síntomas generales por contaminación con Plomo.

Plomo	
Generales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Palidez ✓ Debilidad ✓ Pérdida de peso ✓ Malnutrición ✓ Cansancio
Gastrointestinales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sabor metálico ✓ Aumento de la salivación ✓ Ribete de Burton (plomo en las encías) ✓ Aparición de pus en las encías y caída de los dientes ✓ Anorexia, Náuseas, vómitos ✓ Estreñimiento ✓ Cólico abdominal
Genitourinarios	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Necesidad anormal de orinar en la noche ✓ Alteraciones de los riñones, presencia de sangre en la orina
Neuromusculares	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adormecimiento y hormigueo de las extremidades con perturbaciones sensoriales asociadas ✓ Debilidad de las muñecas y tobillos, también puede presentarse parálisis en el brazo ✓ Pérdida del tono muscular ✓ Temblor ✓ Contracciones y dolores musculares ✓ Dolor de las articulaciones ✓ Atrofia muscular
Sistema nervioso central	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perturbaciones visuales ✓ Dolor de cabeza ✓ Mareos ✓ Nerviosismo o depresión ✓ Insomnio ✓ Confusión mental y delirio ✓ Hemorragias en los ojos, se han consignado también puntitos grises de pigmento de plomo alrededor del iris

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

En la siguiente tabla se muestran las principales afectaciones por intoxicación con Selenio. No hay evidencia de que el selenio sea cancerígeno en humanos.

Tabla 3. 14 Afectaciones generales por intoxicación con Selenio.

Selenio	
Generales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mareos ✓ Dolor de cabeza ✓ Debilidad y cansancio ✓ Palidez ✓ Pérdida de peso ✓ Anemia ✓ Inflamación alrededor de los ojos ✓ Quemaduras en la piel ✓ Salpullido e inflamación en la piel ✓ Coloración amarilla ✓ Coloración roja de las uñas, dientes y cabellos
Respiratorios	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pérdida o disminución del olfato ✓ Irritación de la nariz y garganta ✓ Aliento con olor a ajo
Gastrointestinales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sabor metálico ✓ Náuseas, vomito, dolor abdominal, diarrea ✓ Aumento del tamaño del hígado

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

3.7. PRUEBA DE DIAGNÓSTICO.

Una prueba de diagnóstico médico es una herramienta que ayuda a determinar qué cantidad de una sustancia tóxica se ha absorbido; ya sea por ingestión, inhalación o de forma percutánea. En la tabla 3.6, se muestran las pruebas médicas a realizar para determinar la cantidad absorbida de metales pesados; se observa que la toma de muestras, de orina y de sangre, son las más comunes para detectar la absorción de metales pesados en el organismo; para la Plata no hay una prueba específica a realizar, la absorción de plata se detecta a partir de los signos y síntomas que presente una persona expuesta a este metal pesado.

Tabla 3. 15 Prueba de diagnóstico, para determinar la cantidad absorbida de metales pesados.

Contaminante	Prueba de Diagnóstico
Arsénico	<ul style="list-style-type: none"> ○ Arsénico en orina por arriba de 0.2 mg/L es sugerente (pero la ingestión de langosta puede producir 1.5 mg/L dentro de las 4 horas) análisis del cabello y uñas ○ Los síntomas no se presentan hasta que el nivel en la orina excede 4-5 mg/L
Bario	<p><u>Rayos X:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Enfermedades pulmonares por la inhalación de polvo de barita (BaSO₄), pequeños protuberancias discontinuas eventualmente distribuidas por los pulmones
Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cadmio en sangre completa y orina ○ Presencia de proteínas en la orina ○ Disminución de la capacidad vital ○ Los rayos x presentan sombras pulmonares marcadas ○ Inflamación pulmonar
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cromo en sangre y orina
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mercurio en orina por encima de 0.3 mg en muestra de 24 horas
Plata	<ul style="list-style-type: none"> ○ No hay ninguno establecido
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Excreción urinaria de plomo por encima de 0.02 mg/L ○ Plomo en sangre por encima de 0,07 mg
Selenio	<ul style="list-style-type: none"> ○ Selenio en sangre y orina (nivel normal en sangre 0.5mg/mL)

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

3.8. TRATAMIENTO.

En las tablas 3.16a y 3.17b se muestra el tratamiento a seguir si se ha estado expuesto a los metales pesados en sus diferentes formas físicas y químicas. Los tratamientos van desde lavado de ojos si hubo contacto ocular, lavado con agua y jabón si existió contacto cutáneo, lavado gástrico si se ingirió dicha sustancia y aplicación de medicamento en algunos casos.

Tabla 3. 16a Tratamiento a seguir si se ha sufrido intoxicación por metales pesados.

Contaminante	Tratamiento
Arsénico	<ul style="list-style-type: none"> – Si la exposición ha sido con tricloruro de arsénico (AsCl_3), realice un lavado de ojos con agua, y lávese con agua y jabón las partes contaminadas del cuerpo; o el área de la piel con una suspensión de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_2$ – Dimercaprol: 4 mg/kg de peso del cuerpo (no exceder 300 mg en una dosis) cada 4 horas el primer día; cada 6 horas el segundo día; luego, 3 veces al día durante una semana – Lavado gástrico, si se ha ingerido, seguido de un purgante salino.
Bario	<ul style="list-style-type: none"> – Lavado de ojos con agua – Lavado con agua y jabón de las partes contaminadas del cuerpo – Lavado gástrico si se ha ingerido, seguido de un purgante salino – Purgantes de sulfato de sodio (Na_2SO_4) o magnesio (MgSO_4) para precipitar las sales de bario no absorbidas en el extracto intestinal y facilitar la excreción – Gluconato de calcio intravenoso para el espasmo muscular
Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> – Si se ha ingerido, realizar un lavado gástrico, seguido de un purgante salino – Si se ha inhalado, hacer uso de oxígeno medicinal – Se ha empleado edatamil disódico cálcico para cualquier tipo de exposición
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> – Lavado de ojos con agua – Lavado con agua y jabón de las partes contaminadas del cuerpo – Uso de antihistamínicos en caso de dermatitis – En caso de presentar úlceras en la piel, aplicar edatamil disódico cálcico y aplicar vendaje durante 24 horas, posteriormente, raspar las úlceras secas – Si se ha ingerido usar edatamil disódico cálcico

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

Tabla 3. 16b Tratamiento a seguir si se ha sufrido intoxicación por metales pesados.

Contaminante	Tratamiento
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> – Lavado gástrico, si se ha ingerido, con solución al 5% de sulfoxilato de formaldehido sódico, luego con solución al 2% de bicarbonato de sodio, dejando finalmente 250 mL de sulfoxilato de formaldehido de sodio en el estomago – Uso de almidón para la diarrea – Dimercaprol: 4 mg/kg de peso (pero no exceder los 300 mg en una sola dosis) cada 4 horas el primer día, cada 6 horas el segundo, luego 3 veces al día durante un semana aproximadamente – Mantenerse en vigilancia médica, por el posible desequilibrio electrolítico – Cuanto más grave sea la intoxicación, mayor es la probabilidad de lesiones permanentes.
Plata	<ul style="list-style-type: none"> – En caso de contacto ocular, realizar un lavado de ojos con agua – Realizar un lavado con agua y jabón de las partes contaminadas del cuerpo
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> – Retirar al paciente de la exposición al plomo – Para el cólico del plomo, usar Gluconato cálcico: 10 mL de solución intravenosa al 10% cada 4 horas hasta que sea necesario – Para el estreñimiento, usar sulfato de magnesio: 15 g diarios hasta que sea necesario – Edatamil cálcico disódico: intravenoso en una dosis de 0.5 a 1.0 g durante un periodo de 24 horas en 5 días sucesivos, dejando un periodo de descanso de 5 días , y volviendo a repetir, con la vigilancia del estado renal, antes y durante la terapia – Repetir chequeos de concentración de sangre de 3 a 4 semanas después del último tratamiento – Gluconato ferroso y vitamina B₁₂ han sido sugeridos para la anemia – Lavado gástrico, si se ha ingerido, seguido de un purgante salino
Selenio	<ul style="list-style-type: none"> – Lavado de ojos con agua – Lavado de las partes contaminadas del cuerpo con solución acuosa de tiosulfato sódico al 10% – Tratar quemaduras de la piel de la manera ordinaria – Lavado gástrico, si se ha ingerido, seguido de un purgante salino – Dieta rica en proteínas y en carbohidratos – Suplemento de complejo vitamínico B y vitamina C

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

3.9. SECUELAS.

Las secuelas por absorción de metales pesados, como en el Arsénico, Cadmio, Cromo, Plata y Plomo, pueden ocasionar lesiones permanentes o en algunos casos fatales como en el caso del Plomo. Por otra parte el Bario, el Mercurio y el Selenio, no dejan lesiones o incapacidad permanentes; en estos 3 últimos metales pesados con un tratamiento adecuado y reposo, las secuelas que podrían generarse por la absorción de estos son pasajeras.

La siguiente tabla muestra las secuelas que se presentan por absorción de metales.

Tabla 3. 17 Secuelas que se presentan por absorción de metales pesados.

Contaminante	Secuelas
Arsénico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Las alteraciones de los nervios, hígado y medula, pueden ser permanentes o fatales ➤ Cáncer pulmonar y de piel
Bario	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Las enfermedades de la barita ($BaSO_4$) por inhalación, no produce ninguna incapacidad respiratoria
Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La inflamación del estómago generalmente experimenta una pronta recuperación ➤ Se han producido muertes a causa de las lesiones pulmonares agudas ➤ Las lesiones pulmonares pueden ser permanentes
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Las lesiones de la piel generalmente no incapacitan ➤ La pérdida del sentido del olfato poder permanente
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No se han consignado lesiones permanentes
Plata	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Las lesión de ojos producida por el nitrato de plata ($AgNO_3$) puede ser permanente ➤ El envenenamiento por sales de plata (argirismo u hombre azul) no es incapacitante, excepto la desfiguración
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La parálisis y el daño cerebral pueden producir incapacidad total
Selenio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No se han consignado lesiones permanentes

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

3.10. MEDIDAS PREVENTIVAS.

A continuación se muestra en las tablas 3.18a y 3.18b las medidas preventivas a seguir para prevenir una intoxicación por metales pesados.

Tabla 3. 18a Medidas preventivas a seguir para prevenir una intoxicación por metales pesados.

Contaminante	Medidas preventivas
Arsénico	<ul style="list-style-type: none"> a) Ventilación adecuada (con escape descendente) en el lugar de trabajo b) Trajes protectores de algodón, lavados diariamente c) No comer ni fumar en el área de trabajo d) Gafas herméticas para el polvo o caretas e) Gafas protectoras para la exposición al tricloruro de arsénico (AsCl₃) f) Mascarilla con filtro mecánico, con armazón de goma dura y gasa quirúrgica sobre la nariz y mejillas; mascarilla con adsorbente químico, para la exposición al tricloruro de arsénico (AsCl₃) g) Exámenes médicos periódicos del personal expuesto, incluyendo análisis de sangre completo, análisis de orina y determinación del arsénico en orina que no debe exceder de 0.5 – 1.0 mg de As/L h) Excluir de la exposición a los individuos con enfermedades de la piel, sangre, hígado, riñones y sistema nervioso central
Bario	<ul style="list-style-type: none"> a) Ventilación adecuada en el área de trabajo b) Uso gafas protectoras c) Portación de mascarilla con filtro mecánico d) Uso de guantes y delantales de goma e) Excluir de la exposición al bario insoluble a los individuos con enfermedades pulmonares
Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> a) Ventilación adecuada b) Mascarilla con filtro mecánico c) Reconocimientos médicos anuales del personal expuesto, incluyendo capacidad vital, pecho a rayos X, análisis de orina d) Excluir de la exposición a los individuos que tengan enfermedades de pulmón, hígado, riñón y sangre
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> a) Ventilación adecuada b) Mascarilla con filtro mecánico c) Guantes, delantales y botas de goma d) Reforzar la higiene personal e) Aplicar vaselina o parafina a la nariz antes de ir al trabajo f) Realizarse estudios médicos, incluyendo pecho a rayos X cada 6 meses para personas con hasta 5 años de exposición

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

En la tabla anterior como en la tabla 3.18b las medidas preventivas van desde, tener una ventilación adecuada en el área de trabajo, usar trajes adecuados para la manipulación de estos contaminantes y no comer ni fumar en las áreas de trabajo.

Tabla 3. 18b Medidas preventivas a seguir para prevenir una intoxicación por metales pesados.

Contaminante	Medidas preventivas
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> a) Ventilación adecuada b) El mercurio que llegara a verterse debe recogerse rápidamente c) Una capacitación adecuada sobre el manejo del mercurio d) Deben tomarse muestras de aire con frecuencia para ser analizadas e) No comer ni fumar en el área de trabajo f) Uso de trajes protectores g) Reconocimiento médico del personal expuesto a intervalos determinados del mercurio, incluir determinaciones de mercurio en orina, además de evaluación neurológicas h) Excluir de la exposición a los individuos que padezcan enfermedades de hígado, riñones, pulmones y nervios
Plata	<ul style="list-style-type: none"> a) Ventilación adecuada b) Uso de mascarilla con filtro mecánico c) No comer ni fumar en el área de trabajo
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> a) Educación de los empleados expuestos en la higiene personal b) Determinaciones de plomo en sangre y orina del personal expuesto, a intervalos de 1 a 3 meses c) Excluir de una exposición a los individuos, cuyos niveles de plomo en sangre y orina estén por encima de los límites aceptables
Selenio	<ul style="list-style-type: none"> a) Ventilación adecuada b) Gafas protectoras c) Mascarillas con filtro mecánico d) Guantes de goma o plástico; deben cambiarse con frecuencia a causa de su saturación con el selenio e) No comer ni fumar en el área de trabajo f) Reconocimiento médico del personal expuesto cada 6 meses, incluyendo determinaciones de selenio en orina y estudio de la función del hígado g) Excluir de la exposición a los individuos con enfermedades de hígado y pulmones

Fuente: Plunkett, (1974); Klaassen y Watkins III, (2001); Córdoba, (2006); Clauser *et al.*, (1970); Dreisbach y True, (2003).

CAPÍTULO 4. PRESENCIA EN EL MUNDO.

4.1. ABUNDANCIA.

Los metales están presentes en el ambiente desde que se formó el planeta: no pueden crearse ni destruirse. La vida surgió y se desarrolló en un entorno donde seguramente los metales actuaron como catalizadores de reacciones que contribuyeron a formar nuestro mundo tal como se conoce. Es más, muchos de ellos resultan esenciales para diversos procesos biológicos. Ante esta situación es lícito preguntar ¿por qué nos preocupa la presencia de metales en el ambiente, si siempre estuvieron allí? Si bien la cantidad total de los metales es invariante en la Tierra, éstos pueden presentarse bajo la forma de diferentes especies químicas, modificando su reactividad y solubilidad, con lo que se afecta la disponibilidad para los organismos, su actividad, y por lo tanto la toxicidad. Los sistemas biológicos requieren de una variedad importante de metales, pero las cantidades suelen ser a nivel traza (como por ejemplo en el caso del cobre o zinc, entre otros) o son componentes importantes en las células, como el caso del sodio, calcio o potasio; sin embargo, cantidades superiores resultan tóxicas. En la naturaleza, los metales mayoritariamente se encuentran en la litósfera formando parte de minerales de baja solubilidad (Zalts, 2011).

4.1.1. ARSÉNICO.

El arsénico se presenta en la naturaleza como un elemento asociado a las rocas ígneas y sedimentarias en forma de arsenopirita (FeAsS). De manera natural puede liberarse al agua subterránea por procesos de geotermalismo, es decir, agua que proviene de una gran profundidad y que al calentarse provoca que se libere el As de la roca enriqueciendo el agua subterránea con éste. También se encuentra en los desechos de las antiguas minas de extracción de oro, en donde

molían la arsenopirita (FeAsS) para extraer el oro, y como desecho dejaban pilas de mineral molido que reacciona con el oxígeno y el agua formando trióxido de arsénico (As_2O_3) y provocando que se incorpore al ecosistema. Este compuesto es soluble y extremadamente peligroso (Patrón, 2011).

4.1.2. BARIO.

Los compuestos de bario se obtienen de la minería y por conversión de dos minerales de bario. La barita (BaSO_4), o sulfato de bario, es el principal mineral y contiene 65.79% de óxido de bario. La witherita (BaCO_3), algunas veces llamada espato pesado, es carbonato de bario y contiene 72% de óxido de bario (Lenntech, 2014).

El bario es relativamente abundante en la naturaleza y se encuentra en los tejidos de origen vegetal y animal. Las plantas lo acumulan a partir del suelo (Klaassen y Watkins III, 2001).

4.1.3. CADMIO.

Es un elemento escaso en la corteza terrestre. Las menas de cadmio son difíciles de encontrar, y suelen estar en pequeñas cantidades. Suele sustituir al zinc en sus minerales debido a su parecido químico. Se obtiene generalmente como subproducto; el cadmio se separa del zinc precipitándolo con sulfatos o mediante destilación. Generalmente el zinc y el cadmio están en sus minerales como sulfuros, al tostarlos se obtiene una mezcla de óxidos y sulfatos, y el cadmio se separa aprovechando la mayor facilidad para reducirlo. El mineral más importante de zinc es la esfalerita, (ZnS), siendo el mineral análogo de cadmio la greenockita

(CdS). Además de obtenerse de la minería y metalurgia de sulfuros de zinc, también se obtiene, en menor medida, de los de plomo y cobre. Existen otras fuentes secundarias: del reciclado de chatarra de hierro y acero se obtiene aproximadamente el 10% del cadmio consumido (CNEQ, 2013),

4.1.4. CROMO.

No se encuentra libre en la naturaleza; se concentra en las rocas básicas de la corteza en promedio de 125 mg/kg. Sus principales minerales son cromita (cromato de hierro $[\text{FeCr}_2\text{O}_4]$) que es el mineral industrial más importante y la crocoíta (cromato de plomo $[\text{PbCrO}_4]$) que es menos abundante. En condiciones naturales casi siempre el cromo es trivalente y prácticamente todo el cromo hexavalente es generado por la actividad humana. La cromita (mineral de hierro), es producido principalmente en Turquía, Sudáfrica, Filipinas, Estados Unidos, Zimbabwe, Rusia, Serbia, Montenegro y Cuba (Córdoba, 2006).

4.1.5. MERCURIO.

El mercurio se clasifica en el 67º lugar en orden de abundancia de los elementos en la corteza terrestre. Se encuentra en estado libre en pequeñas cantidades distribuido en grandes masas rocosas y combinado con la plata, pero la mayor parte se encuentra como mineral en el cinabrio (HgS). Las minas de cinabrio de Almadén (Ciudad Real), explotadas desde 300 años A.C., son de una riqueza extraordinaria (entre el 6 y el 8%) y hacen que España, con un 29%, sea uno de los principales productores del mundo junto con Italia (36%) y Estados Unidos (15%) (Peñas, 2014).

4.1.6. PLATA.

Ocupa el 66° lugar entre los elementos por su abundancia en la corteza terrestre. Se encuentra en estado nativo, mezclada en cantidades variables con oro y con cobre en Perú y Noruega, donde las minas se trabajan desde hace siglos. Más abundantemente se encuentra combinada formando parte de minerales como silvanita (AgAuTe_4) y argentita (Ag_2S). La plata también se encuentra en los minerales de plomo, cobre y zinc de manera que la mitad de la producción mundial de plata se obtiene como subproducto en el procesamiento de tales minerales. Prácticamente toda la plata producida en Europa se obtiene de la galena, mineral de sulfuro de plomo. En México, Perú, Canadá, Francia, Estados Unidos y Australia se encuentran los yacimientos más importantes de sus minerales (Peñas, 2014).

4.1.7. PLOMO.

Es 36° en orden de abundancia en la corteza terrestre. El principal mineral de plomo es la galena (PbS), a la que siguen en importancia la cerusita (PbCO_3) y la anglesita (PbSO_4). Hasta 1881, en que fue desbancada por Estados Unidos, España era el primer productor mundial de plomo gracias a los ricos yacimientos de galena de Jaén, Almería y Murcia. Además de España, los principales productores de plomo son Australia, los Estados Unidos, Canadá, México, Perú, Serbia (parte de la confederación de Serbia y Montenegro), y Rusia (Peñas, 2014).

4.1.8. SELENIO.

Se encuentra en la corteza terrestre en una proporción de 50 ppb. Se presenta en unos pocos minerales como seleniuro de plomo, (PbSe) y un seleniuro mixto, (CuTlAg)₂Se. También se encuentra acompañando al azufre libre y a muchos sulfuros minerales (Peñas, 2014).

La disponibilidad de selenio y de compuestos de este elemento, así como el potencial tóxico de los mismos, se relaciona con su forma química. El selenio se encuentra en la naturaleza como selenato (Se⁶⁺), selenita (Se⁴⁺), selenio elemental (Se⁰) y selenida (Se²⁻) (Klaassen y Watkins III, 2001).

4.2. EXTRACCIÓN.

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Casi desde el principio de la edad de piedra, hace 2,5 millones de años o más, ha venido siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los predecesores de los seres humanos empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. Al principio, la minería implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria, de desenterrar el sílex (SiO₂) u otras rocas. A medida que se vaciaban los yacimientos de la superficie, las excavaciones se hacían más profundas, hasta que empezó la minería subterránea. Todos los materiales empleados por la sociedad moderna han sido obtenidos mediante minería, o necesitan productos mineros para su fabricación. Puede decirse que, si un material no procede de una planta, entonces es que se obtiene de la tierra. Incluso las otras actividades del sector primario como, la agricultura, pesca y silvicultura no podrían llevarse a cabo sin herramientas y máquinas fabricadas con los

productos de las minas. Cabe argumentar por ello que la minería es la industria más elemental de la civilización humana (ITESCAM, 2014).

Los seres humanos somos grandes modificadores de nuestro planeta: nuestros instintos nos llevan a transformar nuestro entorno en la búsqueda de mejores condiciones de vida. Las sociedades tecnológicas en las que vivimos, caracterizadas por el uso intensivo de materiales, están asociadas a un requerimiento creciente de los mismos debido al aumento de la población mundial, y por lo tanto, al incremento en la producción de bienes y prestación de servicios. Esta situación acarrea una serie de consecuencias entre las cuales probablemente las más acuciantes resultan ser la escasez de los recursos naturales y el impacto ambiental asociado a la obtención de materiales, su uso y/o los residuos generados. Entre los recursos naturales críticos para el desarrollo de nuestras sociedades se encuentran, por ejemplo, los metales (Zalts, 2011).

4.2.1. ARSÉNICO.

El arsénico (As) es un metaloide que se extrae de minas de minerales que lo contiene en aleación (arsenolita [As₂O₃], cobaltita [CoAsS], oropimente). Al calentar los minerales a 172 °C, se desprenden vapores en forma de sales sulfurosas y al precipitar estas, el arsénico puede ser recobrado como trióxido o arsénico blanco; muy tóxico cuando es impuro. También se halla arsénico en el agua, en suelo, en algunos vegetales, animales y organismos marinos. En estos últimos lo concentran en cantidades mínimas. El arsénico también puede provenir de volcanes (Córdoba, 2006).

La mayor demanda de arsénico existe en forma de trióxido de arsénico (As₂O₃), el cual, en forma refinada, se denomina arsénico blanco (el arsénico negro es As₂O₃ en bruto), anhídrido arsenioso, óxido arsenioso, y también por el nombre mal

aplicado por el consumidor, generalmente aceptado, de arsénico. El trióxido se emplea principalmente en la manufactura de herbicidas e insecticidas. El metal comercial se vende normalmente en forma de trozos (de 5.8 a 7.62 cm), con el mínimo de pureza del 99%, y se empaqueta en toneles de 90 kg (Clauser *et al.*, 1970).

4.2.2. BARIO.

Se extrae por electrólisis de una disolución de su cloruro usando cátodo de mercurio y destilando en el vacío la amalgama formada. También se extrae por electrólisis del cloruro fundido y por reducción del BaO con aluminio (Peñas, 2014).

4.2.3. CADMIO.

Mediante el proceso de refinado se producen calidades de cadmio con una pureza del 99.98%, y mediante procesos especiales se puede obtener una calidad de pureza elevada (superior al 99.999%). Las calidades comerciales se venden en forma de planchas (50 kg), lingotes (11.3 kg), bolas (570 g), varilla (113 g) y también en forma granular (Clauser *et al.*, 1970).

4.2.4. CROMO.

El cromo se obtiene en estado metálico compactado por métodos pulvimetalúrgicos (proceso de fabricación que, partiendo de polvos finos y tras su

compactación para darles una forma determinada, se calientan en atmósfera controlada para la obtención de la pieza) o por fusión por arco (la unificación de los metales se obtiene mediante el calor de un arco eléctrico entre un electrodo y pieza a unir) en una atmósfera inerte. Para la sinterización (tratamiento térmico de un polvo o compactado metálico o cerámico a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla, para incrementar la fuerza y la resistencia de la pieza creando enlaces fuertes entre las partículas) del metal en polvo, el cromo electrolítico se introduce primero en un molino cromado, usando bolas electroplateadas para su molienda. El polvo que se obtiene se prensa a 31.5 - 47.25 kg/mm² para obtener una masa compactada. Algunas veces es necesario añadir un compuesto de enlace provisorio, que se separa calentando a 300 °C antes de sinterizar. La operación de sinterización tiene lugar de 1,450 – 1,500 °C, en una atmósfera de hidrógeno depurado, helio o argón. La porosidad del compacto que se obtiene es rara vez menor del 6%. El mejor método para la solidificación por fusión es la fundición por arco de electrodos consumibles, usando un crisol de cobre enfriado por agua bajo una presión reducida de argón o helio-argón (Clauser *et al.*, 1970).

4.2.5. MERCURIO.

La principal fuente de mercurio es el degaseado natural de la corteza terrestre, incluso áreas de suelos, ríos y el océano, y se estima que esta fuente produce alrededor de 2,700 a 6,000 toneladas por año. Cada año se extraen cerca de 10,000 toneladas de mercurio, pero hay considerable variación de un año a otro. La liberación total hacia la atmósfera, fabricada por el ser humano, es de aproximadamente 2,000 a 3,000 toneladas, y es difícil valorar las cantidades de mercurio que provienen de actividades humanas y las procedentes de fuentes naturales (Klaassen y Watkins III, 2001).

El mercurio se obtiene de yacimientos de cinabrio que es sulfuro de mercurio (HgS) y el cual contiene un 85% de mercurio. Existen yacimientos importantes en Almadén (España), en la extinta Yugoslavia (ahora Serbia y Montenegro), Italia, México, donde la producción anual alcanza las 220 toneladas, en Chile y en Perú. En Colombia existen las minas de Aranzazu (en el departamento de Caldas), en donde se encuentra en forma líquida, prácticamente puro, pero que por problemas de morbilidad debieron ser clausuradas por el gobierno en el año 1970 (Córdoba, 2006).

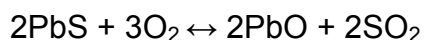
4.2.6. PLATA.

La plata se recupera comúnmente de los minerales de plata por tostación del mineral en un horno para convertir los sulfuros a sulfatos y posteriormente extraer químicamente la plata metálica. Varios procesos metalúrgicos se usan para extraer plata de minerales de otros metales. En el proceso de amalgamado, el mercurio líquido, que forma una amalgama con la plata, se agrega al mineral triturado. Después se lava la amalgama y se elimina el mercurio por destilación, quedando plata metálica. En el método de lixiviación la plata se disuelve en una solución de una sal, comúnmente cianuro de sodio diluido, formándose un complejo hidrosoluble del que se precipita la plata por reducción con aluminio o zinc metálico. La plata impura obtenida en estos procesos es refinada comúnmente por métodos electrolíticos o por eliminación de impurezas por vaporización o absorción (Peñas, 2014).

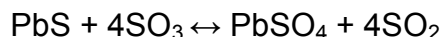
4.2.7. PLOMO.

El plomo, elemento metálico sin función conocida en el cuerpo, ha sido extraído de las profundidades de la tierra e introducido en la biosfera. La producción de plomo en el mundo se calcula que sobrepasa los 4 millones de toneladas al año, correspondiendo a América Latina un 15% de esta cifra (Córdoba, 2006).

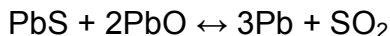
En primer lugar se procede a la tostación del mineral al aire pasando una parte del sulfuro a óxido



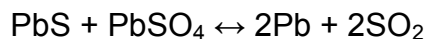
y otra a sulfato



Posteriormente se eleva la temperatura y se corta la entrada de aire con lo que el propio mineral actúa como reductor del óxido



y del sulfato



formados anteriormente. El plomo fundido obtenido se calienta al aire para oxidar las impurezas de arsénico, cobre y antimonio que forman una escoria que se separa fácilmente. La recuperación de la plata y el oro es tan importante económicamente como la propia recuperación del plomo y suele hacerse añadiendo una pequeña cantidad de zinc al plomo fundido que disuelve los metales preciosos. Esta aleación fundida se queda en la superficie del plomo y se retira con facilidad para separar el zinc por destilación. El plomo se afina térmicamente o electrolíticamente mediante el proceso de Bett, en el que se usa el plomo impuro como ánodo y planchas delgadas de plomo puro como cátodo, utilizándose una disolución de fluosilicato de plomo (SiF_6Pb) como electrolito. La

recuperación y reciclaje del plomo, principalmente de las baterías, constituye hoy una importante fuente de plomo (Peñas, 2014).

4.2.8. SELENIO.

Su extracción es bastante complicada. Suele obtenerse de los humos formados durante la calcinación de los sulfuros minerales, sobre todo de cobre y zinc, de los lodos rojos que se recogen en el fondo de las cámaras de plomo en la síntesis del ácido sulfúrico y en el refinado electrolítico del cobre. En la actualidad la extracción como subproducto en estos procesos es insuficiente para abastecer el rápido aumento de la demanda industrial de selenio (Peñas, 2014).

4.3. PRODUCCIÓN MUNDIAL Y RESERVAS.

4.3.1. ARSÉNICO.

El arsénico se puede obtener a partir de cobre, oro, plomo y polvo de combustión de fundición, así como de tostar arsenopirita (FeAsS), el mineral más abundante que contiene arsénico. El arsénico se ha recuperado de rejalgar (un sulfuro de arsénico natural [As_4S_4]) y oropimente (As_2O_3), en China, Perú y las Filipinas; a partir de minerales de cobre y oro en Chile; y se asoció con las apariciones de oro en Canadá. El Oropimente (As_2O_3) y rejalgar (As_4S_4) de minas de oro en la provincia de Sichuan, China, se almacenaba para su posterior recuperación de arsénico. El arsénico también se puede recuperar de enargita (Cu_3AsS_4), un mineral de cobre. Los recursos mundiales de cobre y plomo contienen aproximadamente 11 millones de toneladas de arsénico (U.S. Geological Survey, 2014).

En la tabla 4.1 se muestran los principales países productores de Trióxido de Arsénico (As_2O_3), una de las fuentes de obtención de arsénico de la naturaleza.

Tabla 4. 1 Principales países productores de Trióxido de Arsénico (As_2O_3).

	Producción (Trióxido de arsénico) As_2O_3 (toneladas)		Reservas (toneladas)
	2012	2013	
Estados Unidos	-	-	Las reservas mundiales se consideran que son alrededor de 20 veces la producción mundial anual.
Bélgica	1,000	1,000	
Chile	10,000	10,000	
China	26,000	25,000	
Marruecos	8,000	7,000	
Rusia	1,500	1,500	
Otros Países	200	200	
Total mundial (redondeado)	46,700	45,000	

Fuente: U.S. Geological Survey (2014).

Nota:

- Otros países como: Bolivia, Japón y Portugal. México y Perú; son importantes productores de trióxido de arsénico, pero no han reportado la producción en los últimos años.
- El trióxido de arsénico y metales arsénico primaria no se han producido en los Estados Unidos desde 1985.

4.3.2. BARIO.

Proyectos mineros de barita (BaSO_4), están en diversas etapas de desarrollo, en Kazajstán, Liberia, México, Nigeria, Zimbabwe y posiblemente en otros países, como se observa en la tabla 4.2. La dependencia de unos pocos grandes países exportadores y el aumento de precios dieron lugar a un mayor interés en el

desarrollo de nuevas fuentes de barita (BaSO_4). Como resultado, la diversificación de los suministros mundiales de barita es probable que aumente (U.S. Geological Suvey, 2014).

Tabla 4. 2 Producción mundial de barita (BaSO_4).

	Producción minera (toneladas)		Reservas (toneladas)
	2012	2013	
Estados Unidos	666	660	15,000
China	4,200	3,800	100,000
Alemania	55	55	1,000
India	1,700	1,500	34,000
Irán	330	330	No disponible
Kazajstán	250	250	85,000
México	140	125	7,000
Marruecos	1,000	850	10,000
Pakistán	52	50	1,000
Perú	76	75	No disponible
Rusia	63	65	12,000
Tailandia	70	70	18,000
Turquía	260	260	35,000
Vietnam	85	90	No disponible
Otros países	250	300	35,000
Total mundial (redondeado)	9,200	8,500	350,000

Fuente: U.S. Geological Suvey (2014).

4.3.3. CADMIO.

El cadmio es generalmente recuperado como un subproducto a partir de concentrados de zinc. Son típicas las relaciones de zinc-cadmio en minerales típicos de zinc, que van desde 200:1 a 400:1. La esfalerita (ZnS) es el mineral económicamente más significativo, comúnmente contiene cantidades menores de cadmio, que comparte ciertas propiedades químicas similares con el zinc. En la

tabla 4.3 se apreciar los principales países productores de cadmio (U.S. Geological Suvey, 2014).

Tabla 4. 3 Principales productores de Cadmio.

	Producción de refinado (toneladas)		Reservas (toneladas)
	2012	2013	
Estados Unidos	Retenido para evitar la divulgación	Retenido para evitar la divulgación	32,000
Australia	380	380	No disponible
Bulgaria	420	420	No disponible
Canadá	1,100	800	23,000
China	7,300	7,400	92,000
India	620	630	35,000
Japón	1,800	1,900	0
Kazajstán	1,300	1,400	30,000
Corea del sur	3,000	3,900	0
México	1,624	1,630	47,000
Holanda	560	560	0
Perú	684	685	55,000
Polonia	530	400	16,000
Rusia	700	850	44,000
Otros países	880	850	130,000
Total mundial (redondeado)	20,900	21,800	500,000

Fuente: U.S. Geological Suvey (2014).

4.3.4. CROMO.

China es el país que más consume cromo, ya que es el principal productor de acero inoxidable. Los recursos del mundo son más de 12 mil millones de toneladas de cromita, listas para su envío, suficientes para satisfacer la demanda concebible durante siglos. Alrededor del 95% de los recursos de cromo del mundo

se concentra geográficamente en Kazajstán y el sur de África, como se aprecia en la tabla 4.4 (U.S. Geological Suvey, 2014).

Tabla 4. 4 Principales países productores de Cromo.

	Producción minera (millones de toneladas)		Reservas (millones de toneladas)
	2012	2013	
Estados Unidos	No disponible	No disponible	620
India	3,900	3,900	54,000
Kazajstán	4,000	4,000	240,300
Sudáfrica	11,000	11,000	200,000
Otros Países	6,700	7,100	No disponible
Total mundial (redondeado)	25,600	26,000	> 480,000

Fuente: U.S. Geological Suvey (2014).

4.3.5. MERCURIO.

China, Kirguistán, México, Perú, Rusia, Eslovenia, España y Ucrania tienen la mayor parte del mundo unas 600.000 toneladas de recursos de mercurio. México recupera el mercurio de los residuos de la minería de plata. En Perú, la producción de mercurio de la mina de Santa Bárbara (Huancavelica) se detuvo en la década de 1990; sin embargo, Perú sigue siendo una fuente importante del mercurio exportado a los Estados Unidos. España, fue el productor líder de mercurio por su mina de Almadén, pero se detuvo la minería en 2003. En los Estados Unidos, hay apariciones de mercurio en Alaska, Arkansas, California, Nevada y Texas; sin embargo, el mercurio no se ha explotado como principal producto de mineral desde 1992. La disminución del consumo de mercurio, excepto para la extracción de oro a pequeña escala, indica que estos recursos son suficientes para otro siglo o más de uso (U.S. Geological Suvey, 2014).

En la tabla 4.5 se enlistan a los principales países productores de mercurio en el mundo.

Tabla 4. 5 Principales productores mineros de Mercurio.

	Producción minera (toneladas)		Reservas (toneladas)
	2012	2013	
Estados Unidos	No disponible	No disponible	0
Chile (subproducto)	52	50	No disponible
China	1,350	1,350	21,000
Kirguistán	250	250	7,500
México (recuperado)	21	20	27,000
Perú (explotación)	40	40	No disponible
Rusia	50	50	No disponible
Tayikistán	30	30	No disponible
Otros países	20	20	38,000
Total mundial (redondeado)	1,810	1,810	94,000

Fuente: U.S. Geological Survey (2014).

4.3.6. PLATA.

Aunque la plata es un producto principal en varias minas, la plata se obtiene principalmente como un subproducto de las minas de plomo y zinc, de las minas de cobre, y las minas de oro. Los yacimientos polimetálicos de los que la plata se recupera representan más de dos tercios de los recursos de plata de Estados Unidos y del mundo. La mayoría de los recientes descubrimientos de plata se han asociado con búsqueda de oro. La producción minera de plata mundial aumentó a un nuevo máximo histórico de 26.000 toneladas, principalmente como resultado del aumento de la producción de las minas en China, México y de Rusia, incluido el aumento de las recuperaciones de las minas en Rusia y Kazajstán, y la mina

Peñasquito en México, esto se puede observar en la tabla 4.6 (U.S. Geological Suvey, 2014).

Tabla 4. 6 Producción mundial de Plata.

	Producción minera (toneladas)		Reservas (toneladas)
	2012	2013	
Estados Unidos	1,060	1,090	25,000
Australia	1,730	1,700	88,000
Bolivia	1,210	1,200	22,000
Canadá	663	720	7,000
Chile	1,190	1,200	77,000
China	3,900	4,000	43,000
México	5,360	5,400	37,000
Perú	3,480	3,500	87,000
Polonia	1,150	1,150	85,000
Rusia	1,500	1,700	No disponible
Otros países	4,230	4,300	50,000
Total mundial (redondeado)	25,500	26,000	520,000

Fuente: U.S. Geological Suvey (2014).

4.3.7. PLOMO.

Los recursos de plomo identificados en el mundo suman más de 2 mil millones de toneladas. En los últimos años, importantes recursos de plomo se han encontrado en asociación con el zinc y/o plata o cobre, en depósitos localizados en Australia, China, Irlanda, México, Perú, Portugal, Rusia, y Estados Unidos (Alaska). Se espera que la producción minera mundial de plomo aumente, debido principalmente a los aumentos de producción en Australia (principalmente de la reanudación de una mina de plomo que producía 85.000 toneladas por año), y China (U.S. Geological Suvey, 2014).

En la tabla 4.7 se enlistan a los principales productores de plomo en el mundo durante los años 2012 y 2013.

Tabla 4. 7 Principales países productores de Plomo.

	Producción minera (toneladas)		Reservas (toneladas)
	2012	2013	
Estados Unidos	345	340	5,000
Australia	648	690	36,000
Bolivia	88	90	1,600
Canadá	59	35	450
China	2,800	3,000	14,000
India	118	120	2,600
Irlanda	51	43	600
México	210	220	5,600
Perú	249	250	7,500
Polonia	58	60	1,700
Rusia	95	90	9,200
Sudáfrica	55	52	300
Suecia	62	62	1,100
Otros países	330	350	3,000
Total mundial (redondeado)	5,170	5,400	89,000

Fuente: U.S. Geological Survey (2014).

4.3.8. SELENIO.

El suministro de selenio se ve directamente afectado por el suministro de los materiales de los que es un subproducto, del cobre, y en menor medida, de níquel. Las reservas de selenio se basan en los depósitos identificados de cobre únicamente. El carbón contiene generalmente entre 0,5 y 12 partes por millón de selenio. La recuperación de selenio a partir de carbón, aunque técnicamente es

posible, no parece probable que sea rentable en el futuro (U.S. Geological Suvey, 2014).

En la tabla 4.8 se observan la producción a nivel mundial de selenio, la cual es muy pequeña, comparada con la extracción de otros metales.

Tabla 4. 8. Producción a nivel mundial de Selenio.

	Producción de refinado (toneladas)		Reservas (toneladas)
	2012	2013	
Estados Unidos	Retenido para evitar la divulgación	Retenido para evitar la divulgación	10,000
Bélgica	200	200	0
Canadá	144	150	6,000
Chile	70	70	25,000
China	No disponible	No disponible	26,000
Finlandia	93	100	0
Alemania	650	700	0
Japón	755	780	0
Perú	50	54	13,000
Polonia	80	80	3,000
Rusia	145	150	20,000
Otros países	50	50	21,000
Total mundial (redondeado)	No disponible	No disponible	120,000

Fuente: U.S. Geological Suvey (2014).

Nota:

- La producción mundial total no se muestra debido a la falta de datos procedentes de China y otros productores mundiales más importantes.

CAPÍTULO 5. USOS Y APLICACIONES.

5.1. ARSÉNICO.

El arsénico carece de las propiedades de un material dúctil, y por esta razón se emplea primeramente como ingrediente de aleación, a continuación se enlistan algunas adiciones de arsénico a diversas aleaciones para obtener mejores propiedades físicas y mecánicas (Clauser *et al.*, 1970):

- Se alea con plomo en cantidades que oscilan entre un 0.5 y un 2% de la manufactura de perdigones, ya que mejoran su esfericidad.
- La adición de hasta un 3% de arsénico a aleaciones antifricción a base de plomo mejora sus propiedades mecánicas y, especialmente, sus propiedades a temperatura elevada.
- Pequeñas adiciones de arsénico al cobre mejoran su resistencia a la corrosión y aumentan la temperatura de recristalización. Se recomienda el cobre con un contenido del 0.15 al 0.5 % de arsénico para aplicaciones a elevadas temperaturas.
- Una pequeña cantidad de arsénico (0.02 a 0.05%) es una adición útil al latón para reducir al mínimo o prevenir la adición de zinc.

El arsénico inorgánico se libera hacia el ambiente a partir de diversas fuentes antropógenas, incluso fundiciones primarias de cobre, zinc y plomo, y fábricas de vidrio donde se añade arsénico a materias primas, y fábricas de sustancias químicas. Casi todos los alimentos (carne y vegetales) contienen algo de arsénico. Pese al arsénico proveniente de la dieta, la ingestión diaria total de éste por parte de seres humanos sin exposición industrial regularmente es de menos de 0.3 mg/d. La principal fuente de exposición ocupacional a arsénico es la elaboración de plaguicidas, herbicidas y otros productos agrícolas. Puede ocurrir exposición alta a humos y polvo de arsénico en las industrias de la fundición; las

concentraciones más altas ocurren entre los trabajadores de tostación (Klaassen y Watkins III, 2001).

El arsénico se utiliza en venenos para hormigas, insecticidas, sustancias para eliminar la hierba mala, así como en la pintura, papel tapiz, cerámica y vidrio (Dreisbach y True, 2003).

Existe un gran número de usos secundarios de otros compuestos de arsénico. Se emplea el trisulfuro de arsénico en fuegos artificiales, curtido de pieles, y como pigmento (Clauser *et al.*, 1970).

Además de los usos y aplicaciones enlistados anteriormente, a continuación se mencionan de forma resumida otros usos del arsénico (Córdoba, 2006):

- Como germicida y conservador en viñedos y cultivos de algodón, cereales, papa, soya, tabaco, etc. Como plaguicida en baños de animales, conservación de maderas, etc.
- Como rodenticida y en exterminio de distintos animales dañinos y gérmenes.
- Uno de los usos más importantes del arsénico, actualmente en decadencia, fue en la medicina humana y vegetariana.

5.2. BARIO.

Se utiliza en diversas aleaciones; en pinturas, jabón, papel y caucho, y en la fabricación de cerámica y vidrio. El fluorosilicato (BaSiF_6) y carbonato de bario (BaCO_3) sirven como insecticidas (Klaassen y Watkins III, 2001).

Los compuestos absorbibles de bario como el carbonato (BaCO_3), el cloruro (BaCl_2) o hidróxido [$\text{Ba}(\text{OH})_2$] se utilizan como plaguicidas (Dreisbach y True, 2003).

5.3. CADMIO.

Es un metal tóxico moderno. Se utiliza principalmente en electrorrecubrimientos o galvanización debido a sus propiedades no corrosivas. También se usa como un pigmento de color para pinturas y plásticos, y como material de cátodo para baterías de níquel-cadmio. El cadmio es un subproducto de la minería y la fundición de zinc y plomo, que son fuentes importantes de contaminación ambiental (Klaassen y Watkins III, 2001).

La aplicación más importante del cadmio es su empleo como recubrimiento aproximadamente, de la producción total. El cadmio se deposita usualmente por electrodeposición sobre los metales férricos para protegerlos contra la corrosión. Teniendo en cuenta que es un recubrimiento relativamente caro, recubrimiento de cadmio se emplea comúnmente en las aplicaciones que tiene un servicio en condiciones no muy severas, en las que es suficiente la aplicación de una capa fina de recubrimiento para obtener la protección deseada (Clauser *et al.*, 1970).

El cadmio se utiliza para el chapeado de metales, en la fabricación de aleaciones para cojinetes y en soldaduras de plata. El chapeado de cadmio es soluble en ácidos presentes en los alimentos, como jugos de frutas y vinagre. Cuando los productos que contienen cadmio se calientan por arriba de su punto de fusión (321°C) se liberan humos de cadmio (Dreisbach y True, 2003).

5.4. CROMO.

Es un elemento que abunda en general en la corteza terrestre, y se encuentra en estados de oxidación que varían desde Cr^{2+} hasta Cr^{6+} , pero únicamente las formas trivalente y hexavalente tienen importancia biológica. La forma trivalente es la que se observa con mayor frecuencia. El cromo en el aire se origina a partir de fuentes industriales, en particular de la producción de ferrocromo (aleación de hierro que contiene de 45-75 % de cromo y otros elementos, refinado de mineral, procesamiento de sustancias químicas y refractarios, y combustibles de carburantes fósiles). Las plantas productoras de cemento son otra fuente potencial importante de cromo en la atmósfera. El cromo se precipita y se deposita en la tierra y el agua; la precipitación en la tierra a la postre es transportada hacia el agua y se deposita en sedimentos. El cromo trivalente es la forma que se encuentra con mayor frecuencia en la naturaleza y en materiales biológicos. No hay pruebas de que el cromo trivalente se convierta en formas hexavalentes en sistemas biológicos. Sin embargo, el cromo hexavalente cruza con facilidad las membranas celulares y se reduce dentro de la célula hacia cromo trivalente. El contenido de cromo en los alimentos es bajo (Klaassen y Watkins III, 2001).

El material es empleado para producir aleaciones de cromo, sustancias refractarias y compuestos para la industria química. Las aleaciones se utilizan para imprimir fuerza, dureza, resistencia a la corrosión, oxidación al calor y como aditivo (Córdoba, 2006).

El cromo se utiliza en la síntesis de compuestos químicos, en la fabricación de acero, electrochapado, curtido de pieles y antioxidante de radiadores (Dreisbach y True, 2003).

Aunque el cromo puro se ha producido en las formas de lingotes, redondos, chapas y alambre, las cantidades eran pequeñas y, debido a la poca ductilidad a temperaturas corrientes, su uso como material de construcción es muy limitado. La

mayor parte del cromo puro se usa para aleaciones, tales como la producción de níquel-cromo u otras aleaciones no-ferrosas, cuando no sea posible el uso de los grados más baratos de metal ferrocromico (Clauser *et al.*, 1970).

5.5. MERCURIO.

El mercurio es el único metal que se conserva en estado líquido a temperatura ambiente. El aire saturado con mercurio a 20 °C contiene alrededor de 15 mg/m³, mientras que a 40 °C contiene 68 mg/m³. El mercurio y sus sales se utilizan en la fabricación de termómetros, fieltro, pinturas, explosivos, lámparas, aparatos eléctricos y baterías. Los compuestos dietil y dimetil mercurio [C₄H₁₀Hg y (CH₃)₂Hg] se utilizan para tratar semillas. El cloruro de mercurio (HgCl) y los mercuriales orgánicos se utilizan con fines medicinales (Dreisbach y True, 2003).

Imposible mencionar en esta corta presentación la gran cantidad de aplicaciones que tiene el mercurio, se destacaran solo algunas (Córdoba, 2006):

- En minería. En la extracción de metales, como es el caso del oro, en cuyo proceso se utiliza la gran propiedad que tiene este metal y que no poseen otros metales: la amalgamación.
- Odontología. Extensamente utilizado, por la misma propiedad, en el campo odontológico.
- Industria farmacéutica. Utilizado en preparación de cosméticos, diuréticos (hoy en desuso), como antiséptico (merthiolate, etc.), sustancias que aún son de uso popular.
- Industria agroquímica. Los mercuriales orgánicos han sido usados como fungicidas.

- Laboratorio. De amplia aplicación es el mercurio en este campo; se emplea en la fabricación de aparatos de medición, como barómetros, termómetros, tensiómetros, etc.
- Industria química. Se destacará aquí la aplicación que tiene el mercurio en la producción de ácido clorhídrico y sosa cáustica, en electrólisis cloroalcalina.
- Industria manufacturera. En la fabricación de baterías, equipos eléctricos, rectificadores, lámparas incandescentes, válvulas de radio, tubos de rayos X, en procesos fotográficos y de fotograbado, en taxidermia, en la elaboración de fieltro.

5.6. PLATA.

El principal uso industrial de la plata para la fabricación de placas fotográficas. Otros usos son para joyería, monedas y utensilios para comer. El nitrato de plata (AgNO_3) se utiliza para fabricar tintas indelebles y para propósitos medicinales (Klaassen y Watkins III, 2001).

La plata pura tiene gran aplicación en electrónica y equipo eléctrico, donde su máxima conductividad es de primerísima importancia, como por ejemplo: en contactos de plata fina adecuados para ligeras presiones; dispositivos de poca potencia o para servicio intermitente; controles de lámparas de luz fluorescente, contadores electromagnéticos, mecanismos de protección para motores; termostatos para refrigeradores y relés (relevadores) de teléfono. Debido a la resistencia de la plata a muchos elementos corrosivos, tiene aplicaciones en tuberías y revestimientos para equipos utilizados en la industria química. La plata ley, la cual posee el 92.5% de plata y 7.5% de cobre, es quizá la aleación plata-cobre más conocida, teniendo uso popular en servicios de mesa, joyería, etc. (Clauser *et al.*, 1970).

5.7. PLOMO.

Es el más omnipresente, y es detectable en prácticamente todas las fases del ambiente (Klaassen y Watkins III, 2001).

El plomo se utiliza en las letras metálicas para máquinas de escribir, baterías de almacenamiento, pinturas industriales, soldaduras, cubrimientos de cables eléctricos, vidriado de alfarería, gomas, juguetes, gasolina y aleaciones de latón. Entre otros materiales están las cuentas de plástico, joyería cubierta con plomo para dar un aspecto perlado, whisky ilegal, cerámica casera vidriada, vidrio plomado, polvo en las galerías de tiro, así como cenizas y humo producto de la combustión de madera vieja pintada, periódicos, revistas, contenedores de baterías y pigmentos de pintura artística (Dreisbach y True, 2003).

Aplicaciones típicas del plomo (Clauser *et al.*, 1970):

- Hoja y chapa.- Revestimientos de depósitos, embalajes, preformas para extrusión en frío, empaquetaduras, arandelas.
- Extrusiones de plomo.- Tubo, varilla, alambre, conducto rectangular, tubos de pasta dentífrica (por extrusión en frío).
- Coladas.- Fundiciones en coquilla o por inyección, cojinetes, tipos de imprenta, rejillas de plomo para acumuladores, contrapesos, hélices.
- Recubrimientos.- Chapas de terne (20% estaño, 80% plomo) en tejados, piezas de automóviles, latas para pintura y aceite, material de ferretería, cojinetes, manguitos.
- Revestimientos pegados.- Protección nuclear, depósitos para procesos químicos, tubos, equipos diversos.
- Laminados.- Contrachapados revestidos con plomo, planchas de yeso con plomo, bloques de escoria plomo, laminados de plásticos emplomado, plástico emplomado reforzado con fibra de vidrio para protección de los rayos X y aislamiento y control de sonidos.

- Polvos.- Un constituyente de lubricantes, superficies de cojinetes, forros de frenos y embragues; además se emplea como cargas de plásticos y caucho, y en pinturas y compuestos de juntas de tubos.
- Perdigones.- Gran aplicación para municiones; también se emplea para apantallamiento o para añadir masa en vacíos de forma irregular.

5.8. SELENIO

El selenio es ampliamente utilizado en la industria en la elaboración de celdas fotoeléctricas, baterías solares, vidrio, caucho, acero, pinturas, barnices, fertilizantes, fungicidas e insecticidas. Se encuentran en alimentos tales como camarón, carne y productos lácteos. Las plantas que pueden acumular selenio son de dos especies: aquellas que necesitan selenio para su crecimiento y las que viven en suelos ricos en este metal. El selenio es importante por sus propiedades beneficiosas para la salud humana: es antioxidante, antiseborreico y neutralizante de cadmio, mercurio y arsénico (Córdoba, 2006).

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.

De manera general se realizó una revisión bibliográfica sobre los constituyentes inorgánicos (metales) de la Tabla 2: Límites Máximos Permisibles para los Constituyentes Tóxicos en el Extracto PECT, ubicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos consultando material impreso y electrónico de los últimos veinticinco años básicamente. Se encontró mucha información sobre todo de tipo toxicológico y muy poco sobre los procesos de extracción.

Asimismo se enlistaron las principales propiedades generales, físicas y químicas de los constituyentes inorgánicos (metales) de la Tabla 2: Límites Máximos Permisibles para los Constituyentes Tóxicos en el Extracto PECT y se puede comentar que debido a que son metales sus puntos de ebullición y de fusión son elevados, asimismo, se encontró con excepción del selenio, que los demás elementos en forma de sales, son solubles en agua; el arsénico es el único de los elementos que no es soluble en compuestos orgánicos.

Por otro lado se comparó la toxicología de los constituyentes inorgánicos (metales) de la Tabla 2: Límites Máximos Permisibles para los Constituyentes Tóxicos en el Extracto PECT hallándose que no son tóxicos en su forma elemental sino como sales inorgánicas y algunas orgánicas. La mayoría de estos elementos son tóxicos por ingesta ya que se encuentran disueltos en el suelo y en el agua.

En otro orden de ideas se revisó la distribución y forma de extracción de estos constituyentes tóxicos en México y en el mundo y se puede concluir que están presentes en cantidades menores que otros elementos hallados en la corteza terrestre. A nivel nacional, la plata se extrae principalmente de minas siendo nuestro país el número uno como productor de este elemento.

Finalmente se señalaron los diferentes usos y aplicaciones de los constituyentes tóxicos inorgánicos (metales) en el Extracto PECT, tanto en la vida cotidiana como en la industria química y se puede comentar que el arsénico, el cromo y el cadmio se usan en aleaciones para recubrimiento de metales. El bario y el arsénico se emplean más para plaguicidas, mientras que el mercurio tiene un amplio ámbito de aplicaciones en la industria. Por otro lado el mayor uso de la plata es para joyería, fabricación de monedas y utensilios de uso doméstico. El plomo por su parte se emplea en algunas pinturas y productos enlatados así como para blindaje en materiales radiactivos. Por último el selenio tiene aplicación en celdas fotoeléctricas, en la fabricación del vidrio y en agroquímicos.

REFERENCIAS.

1. AFP, *Una familia limpia hierbas afuera de su casa en Bangladesh*, [fotografía], (citado el 12 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://mexico.cnn.com/mundo/2010/06/21/millones-de-personas-expuestas-a-beber-arsenico-en-bangladesh>
2. Arcos, M.E., Becerril, J., Espíndola, M., Fernández, G. y Navarrete, M.E. (1992). *Transporte, Destino y Toxicidad de constituyentes que hacen peligroso a un residuo*, CENAPRED, pp. 1, 3, 4.
3. Balassa, J.J. y Schroeder, H.A. (1966). *Journal of Chronic Diseases*, 19, pp. 85-106. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-81
4. Bellama, J. M. y Umland, J. B. (2000). *Química*. México: International Thomson, (3a. ed.), p. 32
5. Bouquiaux, J. (1974). *CEC European Symposium on the Problems of Contamination of Man and his Environment by Mercury and Cadmium*. CID, Luxembourg. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 387-445
6. Brinkmann, F.J.J. y Zoeteman, B.C.J., (1976). *Hardness of Drinking Water and Public Health*, Pergamon Press, Oxford, pp. 173-202. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83

REFERENCIAS.

7. Brown, T.L., Burdge, J.R., Bursten, B.E. y LeMay, H.E. (2004). *Química. La ciencia central*. México: Pearson Education, (9a. ed.), p. 47
8. Bryce, F., Charbonneau, S. M., Crice, H. C., Munro, I. C., Sandi, E., y Spencer, K. (1974). *Proceedings of the 13 th Annual Meeting of the Society of Toxicology*, Washington, pp. 1-9. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83
9. Cannon, H.G. (1964). *Mississippi Geological Survey Bulletin*. No. 1176. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 482-520
10. Castro, J., *La Jornada Ecológica, A 30 años del cierre de Cromatos de México 60 mil toneladas de residuos aun nos envenenan* (en línea), México, 2 febrero 2009, (citado el 14 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.jornada.unam.mx/2009/02/02/eco-c.html>
11. Centers for Disease Control and Prevention. (2014). *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Method 7300 Table 2. Exposure Limits, CAS #, RTCES* citado el 18 de abril de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7300.pdf>
12. Chang, R. (2002). *Química*. México: McGraw-Hill, (7a. ed.), p. 292
13. Choppin, G. R. y Summerlin, L. R. (2000). *Química*. México: Publicaciones Cultural, p. 9

REFERENCIAS.

14. Ciencia Xataka, *El desastre Minamata* (en línea), 14 julio 2006 (citado el 10 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.xatakaciencia.com/medio-ambiente/el-desastre-minamata>
15. Clauser, H.R., Fabián, R., Peckner, D. y Riley, M. (1970). *Diccionario de Materiales y Procesos de Ingeniería*. España: Labor S. A., pp. 53-54, 66-67, 154-157, 543-551, 708-709.
16. CNEQ, Centro Nacional de Educación Química, *Abundancia* (en línea), 13 Agosto 2013, (citado el 25 de mayo del 2014). Disponible en World Wide Web: http://www.cneq.unam.mx/cursos_diplomados/diplomados/medio_superior/ens_3/portafolios/quimica/equipo6/Cadmio_abund.htm
17. Córdoba, D. (2006). *Toxicología*. Bogotá: Manual Moderno, (5a. ed.), pp. 19, 294, 296, 303, 338, 346, 353.
18. Corneliussen, P.E. y Jelinek, C.F. (1977). *Environmental Health Perspectives*, 14, pp. 83-87. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83
19. Crecelius, E.A. (1977). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 18, pp. 227-230. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83
20. Davis, R.E., Peck, M. L. y Whitten, K.W. (1998). *Química general*. España: McGraw Hill, (5a. ed.), p. 8

21. Dreisbach, R. H. y True, B. L. (2003). *Manual de toxicología clínica de Dreisbach*. México: El manual moderno, (7a. ed.), pp. 111-112, 224-227, 230-247, 376-378
22. Edgington, G., Robinson, W.O. y Whetstone, R.R. (1950). *U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin*, 1013, pp. 29-32. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 84-94
23. Elinder, C.G. (1985). *Cadmium and Health. A Toxicological and Epidemiological Appraisal*, Ch. 3, C.R.C. Press, Florida. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 130-184
24. Fishbein, L. (1976). *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 2, pp. 77-109. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 185-210
25. Freiberg, L., Kjellström, T., Nordberg, G.F. y Piscator, M. (1974). *Cadmium in the Environment*, (2nd Edition), CRC Press, Cleveland, Ohio. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 130-184
26. Gordon, G.E., Greenberg, R.R. y Zoller, W.H. (1978). *Environmental Science and Technology*, 12, p. 566. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 482-520

27. Grummitt, W.E., (1961). *U.S. At. European commission publication TID-7632*, pp. 376-380. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 84-94
28. Harvey, S.C. (1970). *Pharmacological Basis of Therapeutics*, MacMillan, New York, pp. 967-969. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 521-531
29. Harwood, W. S., Herring, G. y Petrucci, R. H. (2003). *Química General*. Madrid: Prentice Hall, (8a. ed.), p. 9
30. Henderson, E.H., Parker, A. y Webb, M.S.W. (1962). *U.K. At. Energy Author. At. Weapons Res. Establ. Rep. Ser. R.*, 4035, pp. 1-10. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 84-94
31. Horibe, N., Mori, H., Shimokawa, K. y Teramachi, M. (1971). *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, 12, Japón, pp. 330-332. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83
32. Inamasu, T., Ishinishi, N. y Kodama Y. (1974). *Rinsho Kagaku*, 3, pp. 176-187. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83

33. ITESCAM, *Minería* (en línea), (citado el 28 de mayo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r74352.PDF>
34. IUPAC, *Periodic Table of the Elements* (en línea), 1 de mayo 2013, (citado el 6 de abril 2014). Disponible en World Wide Web: http://www.iupac.org/fileadmin/user_upload/news/IUPAC_Periodic_Table-1May13.pdf
35. Japanese Association of Public Health. (1970). *Research about Intake and Accumulation of Cadmium in Areas Requiring Observation*, Japanese Association of Public Health, Tokio. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 130-184
36. Jelinek, C.F. (1982). *Journal Association of Official Analytical Chemists*, 65, pp. 942-946. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 298-353
37. Jernelöv, A., Johansson, K., Lindqvist, O. y Rodhe, H. (1984). *Mercury in the Swedish Environment, Report No. 1816*. National Environment Protection Board, Solna, Sweden. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 387-445
38. Joesten, M. D., Kotz, J. C., Moore, J. W., Stanitski, C. L. y Wood, J. L. (2000). *El mundo de la química*. México: Pearson Education. (2a. ed.), pp. 31-32, 65-66

39. Jorhem, L., Mattsson, P. y Slorach, S. (1984). *Vär Föda*, 36, Suppl. 3. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 298-353
40. Juan, S., The Register, *The Minamata disaster - 50 years on* (en línea), UK, 14 julio 2006 (citado el 11 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web:
http://www.theregister.co.uk/2006/07/14/the_odd_body_minimata_disaster/
41. Keeney, D.R., Sumner, M.E. y Walsh, L.M., (1977). *Environmental Health Perspectives*, 19, pp. 67-71. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83
42. Klaassen, C. D. y Watkins III, J. B. (2001). *Casarett & Doull, Manual de Toxicología*. México: McGraw-Hill Interamericana, (5a. ed.), pp. 665-669, 670-703, 714-717.
43. Klawe, W.L., Peterson, C.L. y Sharp, G.D. (1973). *Fishery Bulletin*, 71, pp. 603-613. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 387-445
44. Kopp, J.F. y Kroner, P.T. (1970). *Trace Metals in Water of the United States: a 5 Year Summary of Trace Metals in Rivers and Lakes of the U.S. (October 1962-September 1967)*. U.S. Department of the Interior, Cincinnati. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 298-353

45. Kut, D. (1981). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 62, p. 161. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 482-520
46. Las ruinas de un molino cubiertas de polvo amarillo (cromo hexavalente), [fotografía], (citado el 14 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.jornada.unam.mx/2009/02/02/eco-cara.html>
47. Leirskar, J. (1974). *Scandinavian Journal of Dental Research*, 82, pp. 74-81. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 521-531
48. Lenntech, Water Treatment Solutions, *Bario* (en línea), (citado el 1 de junio del 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ba.htm>
49. Lenntech, Water Treatment Solutions, *Metales pesados* (en línea), (citado el 22 de abril del 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.lenntech.es/metales-pesados.htm>
50. Levander, O.A. y Morris, Y.C. (1970). *Journal of Nutrition*, 100, pp. 1383-1388. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 482-520

51. Lindberg, P. (1968). *Acta Veterinaria Scandinavica*, Suppl. 23. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 482-520
52. Lunde, G. (1973). *Acta Chemica Scandinavica*, 27, pp. 1586-1594. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83
53. Méndez, E., Excelsior, *Monstruo tóxico en Tultitlán, Edomex será un parque*, (en línea), México, 9 julio 2012, (citado el 16 de Marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.excelsior.com.mx/node/846535>
54. Mommsen-Straub, S. y Schlettwein-Gsell, D. (1973). *Int. Z. Vitaminforsch.*, Beih. p. 13. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 185-210
55. Nakao (1960). *Journal of the Osaka City Medical Center*, 9, pp. 541-571. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83
56. NAS (1974). *Chromium*. Committee on Biological Effects of Atmospheric Pollutants, National Academy of Sciences, Washington, D.C. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 185-210

57. NAS (1980). *Lead in the Human Environment.*, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 298-353
58. Nason, A.P., Schroeder, H.A. y Tipton, I.H. (1972). *Journal of Chronic Diseases*, 25, pp. 491-517. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 84-94
59. Nordberg, G.S., Slorach, S. y Stenström, T. (1973). *Läkartidningen*, 70, pp. 601-604. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 130-184
60. Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
61. Norma Oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
62. Nutrition Foundation (NF) (1982). *Assessment of the Safety of Lead and Lead Salts in Food*, Nutrition Foundation's Expert Advisory Committee, New York-Washington, D.C. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 298-353

REFERENCIAS.

63. Patrón, G., Sociedad de Historia Natural NIPARAJÁ A.C., *Agua y Arsénico: problemática en Baja California Sur* (en línea), México, 9 y 10 diciembre 2011, (citado el 25 de mayo del 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.aguayarsenico.com/Ponencias.html>
64. Peñas, J., Educa Madrid, *Elementos químicos* (en línea), (citado el 27 de mayo del 2014). Disponible en World Wide Web: <http://herramientas.educa.madrid.org/tabla/>
65. Plunkett, E.R. (1974). *Manual de toxicología industrial*. Bilbao: Urmo, S.A. de Ediciones, pp.85-88, 98-100, 125-127, 190-191, 360-362, 437-442, 462-463
66. Pniok, H. (2014). *Das Periodendsystem der Elemente*, (citado el 31 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://pse-mendelejew.de/>
67. PROFEPA, *Control de residuos peligrosos* (en línea), México, 31 agosto 2010, 10 febrero 2014 última modificación, (citado el 16 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/1370/1/mx/control_de_residuos_peligrosos.html
68. Reamer, D.C. y Zoller, W.H. (1976). *Proceedings, Symposium on Selenium-Tellurium in the Environment*, Industrial Health Foundation, Pittsburgh, pp. 54-66. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 482-520
69. Rodgers, G. E. (1995). *Química inorgánica*. Madrid: McGraw Hill, pp. 277-278, 395, 499, 459, 541

70. Rydäl, M. y Westöö, G. (1972). *Vår Föda*, 24, pp. 21-40. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 43-83
71. Schutz, D.F. y Turekian, K.K. (1965). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 29, pp. 259-313. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 521-531
72. Scott, R.C. y Voegeli, P.T. (1961). *Colorado Water Conservation Board, Basic Data Report*, p. 7. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 482-520
73. Siegel, B.Z. y Siegel, S.M. (1979). *The Biogeochemistry of Mercury in the Environment*, Nriagu, J.O. Elsevier, Amsterdam. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 387-445
74. Smith, W. E., (fotógrafo), (1971). *Bahía de Minamata contaminada con residuos industriales*, [fotografía], (citado el 11 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.magnumphotos.com/C.aspx?VP3=SearchResult&STID=2S5RYDWW55U>

75. Smith, W. E., (fotógrafo), (1971). *Metilmercurio vertido en la bahía de Minamata, que es utilizada por los pescadores locales*, [fotografía], (citado el 11 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.magnumphotos.com/C.aspx?VP3=SearchResult&STID=2S5RYDWW55U>
76. Swedish Expert Group (1971). *Nordisk hygienisk tidskrift Supplementum*, p. 4. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 387-445
77. To-Figueras, J., Área científica Menarini, *Grandes Catástrofes Tóxicas*, (en línea), 30 enero 2009, (citado el 16 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.formacionsanitaria.com/cursos/ToxicologiaIV/material/Ponencia4-30enero2009.pdf>
78. Trueque, P., *Armonización de los estándares de agua potable en las Américas* (en línea), (citado el 21 de octubre del 2014). Disponible en World Wide Web: <https://www.oas.org/DSD/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
79. USEPA. (1977). *Air Quality Criteria for Lead. Office of Research and Development EPA-600/8-77-071*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 298-353

REFERENCIAS.

80. USEPA. (2014). Unites States Environmental Protection Agency, (en línea), <http://www.epa.gov/>
81. Walker, B., CNN México, *Millones de personas expuestas a beber arsénico en Bangladesh*, (en línea), 21 julio 2010, (citado el 12 de marzo de 2014). Disponible en World Wide Web: <http://mexico.cnn.com/mundo/2010/06/21/millones-de-personas-expuestas-a-beber-arsenico-en-bangladesh>
82. Williston, S.H. (1968). *Journal of Geophysical Research*, 73, p. 7051. En Freiberg, L. Nordberg, G. y Vouk V. (Eds.) (1990). *Handbook on the Toxicology of Metals, Volume II: Specific Metals*. Netherlands: Elsevier, (2a. ed.), pp. 387-445
83. Zalts, A., Química viva, *Metales, ambiente y las sociedades tecnológicas: ¿Hacia dónde nos dirigimos?* (en línea), Argentina, 20 julio 2011 (citado el 27 mayo del 2014). Disponible en World Wide Web: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v10n2/zalts.html>